

Philipps



Universität
Marburg

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde
Abteilung für Zahnerhaltungskunde
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,
Standort Marburg

Titel der Dissertation:

**Revisionseffizienz von Reciproc-Feilen
zur Entfernung von Wurzelkanalfüllungen
nach 4 verschiedenen Obturationstechniken**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von
Magdalena Susann Müller

aus Bamberg

Marburg, 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

am: 12.12.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr Prof. Dr. Roland Frankenberger

1. Korreferent: Herr Prof. Dr. T. Auschill

Gewidmet meinen Eltern und meinem Bruder

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
2	Literaturübersicht.....	8
2.1	Obturationstechniken	8
2.2	Werkstoffe für die Herstellung endodontischer Instrumente	9
2.3	Manuelle und vollrotierende Instrumente für die Wurzelkanalaufbereitung.....	10
2.4	Reziproke Systeme für die Wurzelkanalaufbereitung	12
2.5	Ursachen, Indikationen und Kontraindikationen zur Revision von Wurzelkanalfüllungen	15
2.6	Methoden der endodontischen Revision: orthograd und retrograd	17
2.7	Techniken und Instrumente für die Endo-Revision	18
2.8	Risiken im Rahmen der Revisionsbehandlung	20
2.9	Prognose von Revisionsbehandlungen	21
2.10	Bisherige Untersuchungen zur Revisionseffizienz.....	22
3	Ziel der Studie.....	26
3.1	Nullhypothesen	27
4	Materialien und Methoden	28
4.1	Versuchsplanung	28
4.2	Vorbereitung der Proben	29
4.3	Wurzelkanalaufbereitung	30
4.4	Einbetten und Fixieren der Wurzelhälften	31
4.5	Einteilung der Proben und Wurzelkanalfüllung.....	35
4.6	Revision der Wurzelkanalfüllungen	43
4.8	Statistische Analyse	47
5	Ergebnisse.....	48
5.1	Prozentualer Anteil an Sealerresten.....	48
5.2	Prozentualer Anteil an Guttapercharesten	52
5.3	Gesamtes Wurzelfüllmaterial	55
5.4	Dauer der einzelnen Revisionsschritte	58
5.5	Revisionseffizienz: exemplarische lichtmikroskopische Bilder	61

6	Diskussion	64
6.1	Diskussion der Methodik.....	64
6.2	Diskussion der Ergebnisse.....	67
7	Schlussfolgerung und klinische Relevanz der Studie	75
8	Ausblick	77
9	Abstract	78
9.1	Aim	78
9.2	Method.....	78
9.3	Results.....	78
9.4	Conclusions	79
10	Zusammenfassung	80
10.1	Hintergrund und Ziele	80
10.2	Material und Methode	80
10.3	Ergebnisse.....	80
10.4	Praktische Schlussfolgerung.....	81
11	Literaturverzeichnis	82
12	Anhang	91
12.1	Abkürzungen.....	91
12.2	Materialien	92
12.3	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	96
13	Danksagung	101
14	Curriculum vitae (entfernt)	102
15	Verzeichnis akademischer Lehrer	103
16	Eidesstattliche Erklärung	104

1 Einleitung

Die Wurzelkanalbehandlung besitzt je nach Ausgangssituation, Erfahrung des Behandlers und verschiedener anderer Faktoren unterschiedlich hohe Erfolgsraten von 68 % - 85 %. Dies wiesen *Ng et al.* 2007 über 1 Jahr retrospektiv und unter Einhaltung strikter Kriterien nach. *Fonzar et al.* sprachen 2009 von einer 7%igen Misserfolgsquote nach 10 Jahren. Als maßgeblich für den Misserfolg stellte sich dabei unter anderem die Notwendigkeit einer Revision heraus, was aufzeigt, wie wichtig die adäquate Durchführung dieser Behandlung ist. Abhängig ist der Erfolg der Erstbehandlung hierbei insbesondere von einer adäquaten chemomechanischen Reinigung sowie von der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung (*Koçkapan* 2003). Laut einer Studie von *Sunay et al.* 2007 korreliert zudem die röntgenologisch darstellbare Qualität der Wurzelkanalfüllungen mit den ebenfalls röntgenologisch erfassten periapikalen Aufhellungen. Es ist daher wichtig, bereits die Standards der endodontischen Initialbehandlung zu optimieren.

Im Zuge der Einführung vollrotierender Nickel-Titan-Systeme trat bereits eine signifikante Verbesserung der Reinigungseffizienz insbesondere bei der Behandlung gekrümmter Kanäle ein (*Baumann et al.* 1999, *Gergi et al.* 2007, *Huang et al.* 2007, *Saad et al.* 2007, *Schirrmeister et al.* 2006). Ferner kommt der koronalen Restauration für die Sicherstellung des Behandlungserfolgs eine besondere Bedeutung zu, da ein Kompromiss hierbei eine koronale Undichtigkeit und somit einen Misserfolg aufgrund einer Reinfektion des Endodonts und des apikalen Parodonts verursachen kann (*Hernandez et al.* 1994).

Wurde im Rahmen der endodontischen Initialbehandlung diesen Anforderungen nicht adäquat Rechnung getragen, können persistente Beschwerden infolge einer Reinfektion des Periapex eine Revisionsbehandlung erforderlich machen. Diese Therapie wird von der *ESE (European Society of Endodontology)* in folgenden Situationen gefordert: Neuauftreten einer periapikalen oder periradikulären Läsion nach endodontischer Behandlung oder Größenzunahme einer vorher existierenden Läsion, Diskrepanz zwischen Symptomen und Röntgenbefunden oder dem Vorliegen einer fortschreitenden Wurzelresorption oder einer Hyperzementose.

Im Rahmen der Revisionsbehandlung kommt daher der möglichst vollständigen Entfernung der vorhandenen Wurzelkanalfüllung und der nachfolgenden effektiven Desinfektion des Kanalsystems eine enorme Bedeutung zu. Verbliebenes Obturationsmaterial kann als Refugium für Keime dienen und somit die nachfolgende Reobturation des Wurzelkanals in Frage stellen.

2 Literaturübersicht

2.1 Obturationstechniken

Allgemein lassen sich die verschiedenen Techniken der Wurzelkanalfüllung in Warm- und Kaltfülltechniken einteilen. Im Rahmen dieser Studie wurde die Einstifttechnik (im Folgenden SCT) sowie die Laterale Kompaktion (im Folgenden LCT) als Kalt-, die Thermafil (im Folgenden TF)- und Warm-Vertikal-Kompaktion (im Folgenden WVC) als Warmfülltechnik angewandt.

Bei der SCT wird jeweils nur ein Guttaperchastift zusammen mit einer Wurzelkanalfüllpaste in den Wurzelkanal eingebracht, wobei mögliche Inkongruenzen durch den Sealer ausgeglichen werden. Nachdem die Proben dieser Studie runde Kanalquerschnitte auswiesen, konnte auch auf diese Art und Weise eine ausreichend homogene Obturation erzielt werden.

Bei der lateralen Kompaktion von Guttapercha, welche nach wie vor als Goldstandard aller Fülltechniken gilt (*Baumann et al. 2003*), wird der eingebrachte Masterpoint noch durch zusätzliche Guttaperchapoints ergänzt, so genannte Nebenstifte oder akzessorische Points, wobei mittels eines Fingerspreaders der nötige Platz und Anpressdruck erzeugt wird. Auch bei dieser Technik ist die Anwendung von Sealer unerlässlich.

Die Thermafil-Technik beinhaltet die Erwärmung eines mit Guttapercha ummantelten Kunststoff-Carriers in einem speziellen *Thermaprep*-Ofen, welcher in erhitztem Zustand unter Anwendung einer geringen Sealermenge in den Kanal eingebracht wird.

Letztendlich wird bei der Warm-Vertikal-Kompaktion (Beispiel *System B* oder *Obtura*) nach Anpassung eines Guttapercha-Masterpoints mit apikaler Klemmpassung ein sogenannter Downpack angefertigt. Dabei wird der Masterpoint mit einem Heat-Carrier sukzessiv bis etwa 3-4 mm kürzer als Arbeitslänge abgetrennt und dabei wiederholt vertikal kompaktiert. Beim darauf folgenden Backfill wird nach röntgenologischer Kontrolle des Downpacks erweichte Guttapercha mittels BackFill-Pistole in den Kanal eingebracht und mittels spezieller, zuvor angepasster Plugger nochmals kompaktiert.

2.2 Werkstoffe für die Herstellung endodontischer Instrumente

Endodontische Instrumente aus Stahl stellten knapp 100 Jahre lang den Standard für die Herstellung von Wurzelkanalinstrumenten dar. Ursprünglich wurde Carbonstahl als Werkstoff verwendet, seit den 1960er Jahren wurde jedoch bevorzugt Chrom-Nickel-Edelstahl (im Folgenden *Cr-Ni-Edelstahl*) eingesetzt, der eine höhere Widerstandsfähigkeit der Instrumente bei häufigem Sterilisieren, insbesondere gegenüber Korrosion ermöglichte (*Baumann et al.* 2003). Das Angebot bestand anfangs ausschließlich aus Handsystemen, später auch aus maschinell angetriebenen Systemen. Die Einführung vollrotierender Instrumente aus dem Werkstoff *Nickel-Titan (NiTi)* konnte die Aufbereitungsqualität und die Reinigungsleistung bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle sowie die Formgebung und Spüleffizienz von Wurzelkanälen signifikant verbessern (*Baumann et al.* 1999, *Carvalho et al.* 2006). Die ersten modernen *NiTi*-Instrumente wurden durch *Walia et al.* (1988) eingeführt, wobei der Werkstoff bereits 1958 durch das *Naval Ordnance Laboratory* bei der amerikanischen Marine Anwendung fand. Die endodontischen Instrumente werden als *55-Nitinol*-Legierung hergestellt, welche aus 56-Gewichtsprozent Nickel und 44-Gewichtsprozent Titan besteht. Manchmal wird dabei ein kleiner Prozentsatz des Nickels durch Kobalt substituiert (*Thompson* 2000). *NitiNOL* steht hierbei für „*Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory*“.

Wie bereits oben erwähnt, weisen *NiTi*-Legierungen eine sogenannte Super- oder auch Pseudoelastizität auf, was sich in einer hohen, anscheinend elastischen Dehnbarkeit zeigt. Dies ist durch eine spannungsinduzierte martensitische Umwandlung des austenitischen Grundzustandes möglich – hervorgerufen durch ein ansteigendes Biegemoment oder Temperaturabfall. Dies wird auch als Formgedächtnis (sog. „Memory-Effekt“) bezeichnet (*Lee et al.* 1988, *Brantley et al.* 2002). Durch diese hervorragenden Eigenschaften ist auch eine Aufbereitung stark gekrümmter Kanäle möglich, da die Feilen aus *NiTi* dem Kanalverlauf ohne Probleme folgen (*Baumann et al.* 1999). *Garip et al.* wiesen zudem 2001 nach, dass bei Anwendung dieser Instrumente die Gefahr von Strip-Perforationen in gekrümmten Kanälen minimiert wird.

2.3 Manuelle und vollrotierende Instrumente für die Wurzelkanalaufbereitung

2.3.4 Handinstrumente

Die Grundlage der Endodontie sind nach wie vor manuell einsetzbare Instrumente aus Stahl. Man unterscheidet hier zwischen Wurzelkanalbohrern (WK-Bohrer), Kerr-Feilen (K-Feilen), Kerr-Räumern (K-Räumern), C-Pilot-Feilen, Exstirpationsnadeln sowie Hedström-Feilen (im Folgenden H-Feilen). Als Modifikation dieser Instrumente sind K-Flex-Feilen (Flexo-File, *Dentsply Maillefer*), Flexoreamer und Flexicut-Feilen (z.B. *Flexicut*, *VDW*) erhältlich. Durch die Rhombusform wird eine vergleichsweise hohe Flexibilität ermöglicht. Eine weitere Modifikation stellt die nicht-schneidende Batt-Spitze dar, welche eine Stufenbildung bei der Kanalinstrumentierung minimiert.

Im Folgenden wird auf einige Handinstrumente näher eingegangen:

K-Räumer (auch als K-Bohrer bezeichnet) besitzen bei niedrigen ISO-Größen einen vier- und bei höheren ISO-Größen einen dreieckigen Querschnitt. Hinsichtlich der Anwendung finden sie einen rechts- oder linksdrehenden Einsatz, dabei sollte jedoch nur eine leichte Drehbewegung stattfinden. Auch K-Feilen stellen im Querschnitt meist einen Drei- bzw. Vierkant (je nach ISO-Größe) dar und können sowohl drehend als auch feilend eingesetzt werden. Es gibt sie in mannigfaltigen Ausführungen – unter anderem auch aus *NiTi*, was eine hohe Flexibilität und damit auch die Aufbereitung gekrümmter Kanäle ermöglicht. Der Schneidekantenwinkel ist bei den K-Feilen im Vergleich zu den K-Räumern erheblich vergrößert, was eine größere Arbeitsleistung darstellt. H-Feilen ermöglichen einen zirkumferenten Abtrag von Material entlang der Wurzelkanalwand und sind hinsichtlich des Querschnitts einfach helikoidal. Eine Zweifachhelix stellt diesbezüglich die S-Feile dar, welche aufgrund der höheren Schneidleistung im Vergleich zur H-Feile noch um einiges effizienter arbeitet (*Baumann et al.* 2003). Die H-Feile sollte dabei nur linear feilenden Einsatz finden.

Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung weist eine Historie auf, welche bereits auf das Jahr 1728 zurückgeht. In diesem Jahr wurde bereits durch *Pierre Fauchard* in seinem Werk „*Le chirurgien dentiste*“ die Trepanation und Kanalinstrumentierung beschrieben.

1838 entwarf *Edwin Maynard* dann schließlich ein Aufbereitungsinstrument aus einer Uhrfeder (*AKGZ* 2011). Diese Erfindung wurde 1869 dann letztendlich auch

durch die Firma *Zipperer* (*Denton* 1931) gefertigt und stand nun für den Gebrauch in der Praxis zur Verfügung.

J.I. Ingle führte schließlich die auch heute noch aktuelle ISO (International Organisation for Standardization)-Kodierung ein, welche alle Hand- sowie auch rotierenden Wurzelkanalinstrumente hinsichtlich Durchmesser und Länge einteilt (*Ingle* 1955, *Ingle* 1959).

Hierbei geben die ISO-Größen 08 bis 140 den Durchmesser der Instrumentenspitze in hundertstel Millimeter an. Bezüglich der Länge sind Instrumente von 21, 25, 28 bis zu 31 mm erhältlich. Diese Werte stellen die Distanz von der Instrumentenspitze bis zum unteren Ende des Handgriffs dar.

Obwohl eine Wurzelkanalaufbereitung durchaus mit Handinstrumenten möglich ist, setzt deren Anwendung einen erheblichen Zeit- und Kraftaufwand voraus. Verschiedenste Techniken, wie z. B. die Standardtechnik, die Step-back-Technik, die Step-down-Technik, die Step-preparation-Technik, die Circumferential-filing-Technik, die Crown-down-pressureless-Technik, die Balanced-force-Technik sowie die Double-flare-Technik sind zeitlich vergleichsweise aufwendig. Häufig kommt bei Handinstrumenten die Step-back-Technik zum Einsatz. Hierbei erfolgt eine Wurzelkanalaufbereitung schrittweise von apikal nach koronal.

2.3.5 Maschinelle Systeme

Eine zeit- und kraftsparende Weiterentwicklung stellen diesbezüglich die maschinell betriebenen Systeme dar. Historisch finden Versuche zur maschinell betriebenen Wurzelkanalaufbereitung bereits seit ca. einem Jahrhundert statt. So wurde 1889 durch *William H. Rollins* ein Endodontie-Winkelstück inklusive Wurzelkanalbohrer inventioniert (*Hülsmann et al.* 2005). *Giromatic*, *Endo-Gripper*, *Endocursor*, *EndoLift*, *Intra-Endo 3 LD*, *Dynatrak*, *Endoplaner*, *Canal-Finder-System*, *EndoFlash* und *Excalibur* stellen einige weitere frühere Beispiele maschineller Systeme dar. Diese fanden ihren Einsatz in Kombination mit rotierenden Stahlinstrumenten (unter anderem K-Feilen, H-Feilen). Gates-Glidden-Bohrer finden vor allem hinsichtlich der Erweiterung von Kanaleingängen noch immer verbreitet Anwendung.

Auch Lentulos kommen zum Einbringen von Wurzelkanalfüllmaterial immer noch zum Einsatz. Trotz alledem stellten die maschinell betriebenen Stahlinstrumente zur Wurzelkanalaufbereitung eine unzulängliche Arbeitssicherheit dar, da apikale Verbolzungen, Verklebungen im Kanal und Instrumentenfrakturen auftreten konn-

ten (Baumann et al. 2008). Eine bahnbrechende Invention waren letztendlich die vollrotierenden *NiTi*-Instrumente, welche Abweichungen vom Kanalverlauf auch bei stark gekrümmten Wurzelkanälen minimierten und einen Abtransport des Debris nach koronal gewährleisten (Loizides et al. 2006). Mittels drehmomentbegrenztem Antriebsmotor (z.B. Mikromotor, Firma VDW) wurde die Arbeitssicherheit zusätzlich maximiert.

Beispiele für Feilensysteme sind das 2005 entwickelte *Alpha-System* (Konizitäten von 2-10 %), das im Jahr 2000 entwickelte *FlexMaster-System* (#15-#70, Konizität 2-6 %), *K3*, *LightSpeed* (Einsatz von Zwischengrößen), *Mtwo* (insgesamt 8 Instrumente der Größen #10-#40, Konizität 4-7 %), das 1992 vorgestellte *ProFile-System*, *GT Rotary Files*, das seit 2001 erhältliche *ProTaper-System* sowie *RaCe* („Reamer With Alternating Cutting Edges“), welches 1999 eingeführt wurde und durch abwechselnd gedrehte und gerade Schneideareale zur Vermeidung eines Einschraubens beiträgt. Insgesamt ist bereits mit dieser Entwicklung die Endodontie auf einem sehr hohen Niveau angelangt. Alle bis hierher genannten *NiTi*-Systeme haben jedoch die Gemeinsamkeiten der Vollrotation und der Mehrfeilentechnik, was im Laufe einiger Jahre weiterführend modifiziert wurde.

2.4 Reziproke Systeme für die Wurzelkanalaufbereitung

2.4.1 Das *Reciproc-System* (VDW)

Das im Rahmen der vorliegenden Studie eingesetzte System *Reciproc* der Firma VDW wurde 2011 eingeführt und bietet mehrere bedeutende Vorteile bei der Wurzelkanalaufbereitung. Es besteht aus so genanntem *M-Wire-NiTi*, welches durch einen speziellen thermischen Prozess fabriziert wird und 2007 von *Tulsa Dental Specialities* eingeführt wurde. Dieses Material zeichnet sich durch eine noch höhere Flexibilität und Resistenz gegenüber zyklischer Ermüdung aus.

Die Instrumentenspitze ist hierbei nicht schneidend. Der Querschnitt dieser Instrumente ist S-förmig und die einzelnen Feilen sind in Konizitäten von 5, 6 sowie 8 % erhältlich. Die Feilen arbeiten mittels der sogenannten *Balanced-Force-Technik*, welche nach einem Entwicklungszeitraum von 12 Jahren erstmals 1985 von *Roane* vorgestellt wurde. Mittels dieser Methode lassen sich, unabhängig ob Hand- oder maschinelles System, auch gekrümmte Kanäle adäquat aufbereiten (Das *Reciproc-System* 2013). Liegt allerdings eine abrupte Kanalkrümmung im apikalen Bereich vor, ist laut der Firma VDW eine vollständige Wurzelkanalaufbereitung mit *Reciproc*

(sowie auch anderen vollrotierenden *NiTi*-Systemen) nicht angezeigt. Es wird hier empfohlen, zusätzlich Handinstrumente anzuwenden (*Das Reciproc-System* 2013).

Alle bisher entwickelten Systeme bestanden bis jetzt aus mehreren Instrumenten, welche in aufsteigender ISO-Größe im Wurzelkanal zur Aufbereitung angewandt werden müssen. Hierbei bietet *Reciproc* den entscheidenden Vorteil, pro Kanal nur ein einziges Instrument zu benötigen. Die dadurch erreichte Aufbereitungsform ist dabei sowohl für kalte als auch für warme Obturationstechniken kompatibel (*Das Reciproc-System* 2013). Jedes Instrument kann dabei auf volle Arbeitslänge angewandt werden. Außerdem entfällt laut der Firma *VDW* das Erstellen eines Gleitpfades im Vorfeld.

2008 publizierte *Dr. Yared* erstmals einen klinischen Artikel bezüglich der Möglichkeit der Greater-Taper-Wurzelkanalaufbereitung mit nur einem *NiTi*-Instrument, welches maschinell angetrieben wird. Er war es letztendlich auch, der das System *Reciproc* entwickelt hat. Dieses innovative System arbeitet nach dem bereits oben genannten *Balanced-Force-Konzept*, auf das im Folgenden näher eingegangen wird. Es basiert auf minimalen Bewegungen im respektive gegen den Uhrzeigersinn und hat eine gute Zentrierung im Wurzelkanal zur Folge. Selbst Instrumente mit hoher ISO-Größe können auf diese Art und Weise gekrümmte und/oder enge Kanäle aufbereiten (*Das Reciproc-System* 2013). Es findet dabei zunächst eine rotierende Bewegung in Schneidrichtung statt, worauf eine Umkehr der Drehrichtung folgt. Hierbei ist der Drehwinkel in die schneidende Richtung größer als der in die Gegenrichtung, was ein kontinuierliches Vordringen nach apikal zur Folge hat. Eine vollständige Rotation wird nach drei Zyklen erreicht. Dabei sind, bei exakter Abstimmung mit den *Reciproc*-Endomotoren von *VDW*, die Winkeleinstellungen so niedrig konzipiert, dass das jeweilige Instrument seine Elastizitätsgrenze nicht erreicht. Dies wiederum verringert das Risiko des Instrumentenbruchs um ein Vielfaches (*Das Reciproc-System* 2013). Bei der Wurzelkanalaufbereitung kann man, abhängig von der jeweiligen Ausgangsgröße des Wurzelkanals, zwischen drei verschiedenen ISO-Größen wählen.

So bereitet die Feile mit der roten Farbkodierung (R25) den Kanal auf einen Durchmesser von 0,25 mm bei einem Taper von .08 auf. Nach Informationen der Firma *VDW* ist R25 in den meisten Fällen die geeignete Feile für die Wurzelkanalaufbereitung. Analog dazu führt die schwarz kodierte Feile (R40) zu einer Wurzelkanalaufbereitung von 0,40 mm mit Taper .06 und die gelb kodierte Feile (R50) zu einer Aufbereitung von 0,50 mm und Taper .05. Abbildung 1 zeigt die schwarz kodierte Feile

R40, welche auch im Rahmen dieser Studie verwendet wurde. Im klinischen Alltag erfolgt die Entscheidung, welche *Reciproc*-Feile zur Anwendung kommt, zum einen anhand des Ausgangsröntgenbildes und zum anderen durch die initiale Anwendung von Handfeilen. So empfiehlt die Firma VDW, initial ein Handinstrument der ISO-Größe 30 zu verwenden. Ist dieses passiv (also ohne feilende Bewegung) auf Arbeitslänge zu bringen, liegt ein weiterer Kanal mit resultierender Anwendung von R50 vor. Ist dies nicht der Fall, sollte versucht werden, ein Handinstrument der ISO-Größe 20 auf Arbeitslänge zu bringen. Im Erfolgsfall liegt ein mittlerer Kanal vor, für den R40 passend ist. Bei engen Kanälen (ein Handinstrument der ISO-Größe 20 erreicht die Arbeitslänge passiv nicht), sollte R25 zur Anwendung kommen, was, wie oben erwähnt, in den meisten Situationen der Fall ist (*Das Reciproc-System* 2013).

Allgemein besitzen die Instrumente einen Instrumentenschaft von nur 11 mm, was gerade im Molarenbereich einen erheblichen Vorteil darstellt, um einen besseren Zugang zu erlangen. Zusätzlich liegen als Hilfsmittel röntgensichtbare Tiefenmarkierungen bei 18, 19, 20 und 22 mm vor, was bei eventuellen Messaufnahmen eine sehr gute Orientierung ermöglicht. Dabei sind die Instrumente für die einmalige Behandlung bei einem einzigen Patienten und höchstens einem Molaren vorgesehen, was eine erhebliche Reduzierung des Arbeitsaufwandes (der Sterilisationsvorgang entfällt) sowie eine Minimierung des Kontaminationsrisikos zur Folge hat (*Das Reciproc-System* 2013). Des Weiteren entfällt aufgrund der Konzipierung der Feilen die Verwendung von Gates-Glidden-Bohrern, da durch den großen Taper auch ohne diese eine Beseitigung von Überhängen im koronalen Drittel erfolgt (*Das Reciproc-System* 2013).

Der Antrieb der Instrumente erfolgt, wie bereits oben erwähnt, mittels den *Reciproc*-Endodontiemotoren der Firma VDW, wobei zwischen VDW Gold (mit Reverse-Komfortfunktion, welche u.a. Rückmeldung über erhöhte Friktion im Kanal gibt) und VDW Silver unterschieden werden kann. Passend zu den jeweiligen ISO-Größen und Konizitäten gibt es dabei auch *Reciproc*-Papierspitzen und -Guttapercha-Stifte. Dabei wird eine hervorragende Passung zur Aufbereitung erreicht – egal, ob bei SCT, der LCT oder bei WVC (*Das Reciproc-System* 2013).

Kim et al. analysierten in einer aktuellen Studie (2012), dass sowohl das System *Reciproc* als auch das System *WaveOne* (*Dentsply Maillefer*) hervorragende mechanische Eigenschaften aufweisen. Ebenfalls 2012 stellten *Gavini et al.* fest, dass diese hohe Biegefestigkeit und somit verminderte Frakturanfälligkeit abhängig von der reziproken Feilenbewegung ist. Sie verglichen diese nämlich mit rotierenden

Systemen und fanden dabei heraus, dass die Feilen mit der reziproken Bewegung erst nach deutlich mehr Rotationen brachen als die Feilen, welche kontinuierlich rotierend angetrieben wurden. *Kim et al.* wiesen diesen Sachverhalt 2012 in der oben genannten Studie nach, als sie die Systeme *Reciproc*, *WaveOne* (welches ebenfalls reziproken Antrieb aufweist) und *ProTaper* (vollrotierender Antrieb) miteinander verglichen. Die beiden reziproken Systeme wiesen dabei signifikant höhere zyklische Ermüdung und Biegefestigkeit als *ProTaper* auf. *Reciproc* frakturierte dabei erst nach mehr Zyklen als *WaveOne*, welches jedoch einen höheren Torsionswiderstand aufwies. So zeigte diese Studie die im Vergleich zu anderen Systemen hohen mechanischen Eigenschaften dieser beiden reziproken Systeme auf. Laut einer Studie von *Plotino et al.* 2012 zeigten jedoch die Instrumente des Systems *Reciproc* eine noch signifikant höhere zyklische Ermüdung gegenüber den *WaveOne*-Instrumenten.

In Bezug auf die Eignung bei Revisionen existiert jedoch noch keine Studie, weshalb diese auf diesem Wege empirisch in Erfahrung gebracht wurde.

2.4.2 Das WaveOne-System (Dentsply Maillefer)

Neben dem *Reciproc*-System existiert auch das analoge *Wave One*-System der Firma *Dentsply Maillefer*, welches ebenfalls mit reziproker Feilenbewegung arbeitet und aus *M-Wire-NiTi* gefertigt ist. Im Gegensatz zum S-förmigen Querschnitt der *Reciproc*-Feilen liegt hier ein triangulärer, konvexer Querschnitt vor. Die Feilen sind in Konizitäten von 6 und 8 % erhältlich.

2.5 Ursachen, Indikationen und Kontraindikationen zur Revision von Wurzelkanalfüllungen

Eine Wurzelkanalfüllung ist aus mannigfaltigen Bedingungen zu revidieren, wobei die bedeutendsten Ursachen endodontischer Misserfolge unbehandelte Wurzelkanäle bzw. Wurzelkanalabschnitte, die Persistenz von Mikroorganismen nach der Initialbehandlung, undichte koronale Restauration bzw. koronale Mikroleakage mit Kontamination von Mikroorganismen und/oder Substrat, extraradikuläre Infektionen sowie Fremdkörperreaktionen darstellen (*DGZMK*, Revision einer Wurzelkanalbehandlung, 2004). Dies wurde in zahlreichen Studien, u.a. von *Tronstad et al.* 1987, *Saunders et al.* 1994, *Siqueira et al.* 2001 sowie *Friedman et al.* 2002 ausreichend belegt. Radiologische Aufhellungen sind hierbei nicht immer zu erkennen.

Eine endodontische Revisionsbehandlung ist laut Stellungnahme der *DGZMK* 2004 in folgenden Fällen indiziert:

- wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenologischen Symptomen einer persistierenden oder neu entstandenen, endodontisch bedingten Parodontitis apicalis
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit klinischen Symptomen einer endodontisch bedingten Parodontitis apicalis
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenologisch oder klinisch insuffizienter Wurzelkanalfüllung (z. B. mangelhafte Homogenität der Füllung, nicht behandelte Wurzelkanäle, nicht gefüllte Areale des endodontischen Systems, fragwürdiges und nicht mehr indiziertes Füllmaterial etc.) ohne klinische oder röntgenologische Anzeichen einer Parodontitis apicalis
- wurzelkanalbehandelte Zähne mit progressiv verlaufenden, externen entzündlichen Resorptionen
- Wurzelkanalfüllungen mit Exposition zum Mundhöhlenmilieu

Falls Wurzelkanalfüllungen beispielsweise durch Trauma oder Sekundärkaries über längere Zeit dem oralen Milieu ausgesetzt waren, ist aufgrund der Rekontamination ebenfalls eine Revision angezeigt. Auch insuffiziente postendodontische Restaurationen tragen dazu bei (Mikroleakage). Studien von *Swanson et al.* 1987 sowie *Torabinejad et al.* 1990 haben hierbei gezeigt, dass die Penetration von Mikroorganismen dann in diesem Fall auch bei suffizienten Wurzelkanalfüllungen innerhalb weniger Wochen stattfinden kann.

Revisionen sind zudem erforderlich, falls aufgrund von fehlender Zahnhartsubstanz eine Verankerung von indirektem Zahnersatz nicht mehr auf konventionellem Wege möglich ist und der zu versorgende Zahn eine Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften besitzt. Hierbei bestünde beim Setzen des Stiftes nämlich die Gefahr einer Wurzelperforation, welche bei einer konventionellen Wurzelfüllung mittels Guttapercha minimiert wäre (*Koçkapan* 2003). Des Weiteren ist die Wurzelkanalfüllungsrevision bei Instrumentenfrakturen indiziert. Für diesen Fall liegen spezielle Ultraschallansätze (*ET 25 – Satelec*, *RT3 – EMS*, *ProUltra Endo 6,7,8 – Dentsply*) vor, welche besonders konzipiert sind und das frakturierte Fragment durch Vibration nach koronal bewegen können. Je nach Geschick des Behandlers liegt bei diesem Verfahren ein hoher Substanzverlust an Wurzeldentin vor. Falls eine Fraktur im koronalen Drittel des Wurzelkanals auftritt, kann auch das *Endo-Rescue-Kit* der Firma *Komet* zum

Einsatz kommen. Dieses besteht aus mehreren Instrumenten, welche das Greifen, Fixieren und Entfernen des Fragments ermöglichen. Zusätzlich zu diesen Instrumenten ist es auch sinnvoll, das frakturierte Stück mit Feilen und Räumern zu mobilisieren. Sollte die Fraktur jedoch im apikalen Drittel des Wurzelkanals vorliegen, ist meist jedoch eine chirurgische Revision, ergo eine Wurzelspitzenresektion mit retrogradem Verschluss, vorzuziehen.

Zwei weitere, jedoch weniger markante Indikationen zur Revision sind zum einen die Neuversorgung „mortalamputierter bleibender Zähne“, was aufgrund der meist vorliegenden Kanalobliteration oftmals nur erschwert möglich ist sowie die Revision bei externen Resorptionen (*Koçkapan 2003*).

Kontraindikationen zur Revision sind nach der *DGZMK 2004* eine nicht-endodontische Ursache der Erkrankung, eine fragliche Erhaltungswürdigkeit des Zahnes sowie die fehlende Möglichkeit zur Verbesserung des Ausgangszustandes und Beseitigung der möglichen Ursache. Dies ist beispielsweise bei kombinierten Endo-Paroläsionen der Fall. Auch diese Tatsachen wurden in Studien von *Kvist et al. 2001*, *Weiger et al. 1994* sowie *Hülsmann 1994* belegt.

2.6 Methoden der endodontischen Revision: orthograd und retrograd

Man unterscheidet zwei Formen der endodontischen Revisionsbehandlung: einerseits die konservativ-endodontische, andererseits die chirurgische Methode, wobei zunächst der orthograde Weg vorgezogen werden sollte. Falls diese Methode aufgrund von beispielsweise apikal obliterierten Kanälen und/oder frakturierten Instrumentenspitzen im apikalen Drittel des Wurzelkanals nicht möglich sein sollte, kommt eine chirurgisch-endodontische Revision in Form der Wurzelspitzenresektion, Wurzelamputation oder Hemisektion in Betracht.

Welche Methode letztendlich zum Tragen kommt, sollte aufgrund des radiologischen Befundes individuell entschieden werden. So ist beispielsweise bei überkronen Zähnen mit Wurzelstift, überstopften Wurzelkanalfüllungen, Perforationen oder deutlich obliteriertem Wurzelkanal meist die chirurgische Methode vorzuziehen, wobei natürlich Erfahrung und Können sowie die technische Ausstattung des jeweiligen Behandlers eine große Rolle spielen. Hierbei stellt die chirurgische Revision aber meistens die einzige Behandlungsalternative zur Extraktion dar. (*Koçkapan 2003*).

2.7 Techniken und Instrumente für die Endo-Revision

Vor Beginn der Revision ist voraussetzend ein aktueller Einzelzahnfilm des zu behandelnden Zahnes notwendig, um vorab die Anzahl der Wurzelkanäle, deren Länge und Beschaffenheit sowie eine eventuelle radiographische Aufhellung zu begutachten. Zudem sollte der Patient über Revisionstechniken, Risiken, Alternativen, Zeitaufwand sowie mögliche Kosten aufgeklärt werden. Insuffiziente prothetische Versorgungen sollten vor der Revision entfernt werden, damit die medikamentöse Einlage während der einzelnen Sitzungen adäquat das Wurzelkanalsystem desinfizieren kann und eine Rekontamination ausgeschlossen ist. Die Zugangskavität sollte dabei auch eine ausreichende Dimension besitzen, die Zahnkrone jedoch nicht zu stark schwächen. Nachdem endodontische Misserfolge häufig auf zusätzliche, nicht behandelte Wurzelkanäle zurückzuführen sind, sollte als nächster Schritt das Aufsuchen dieser erfolgen. Dies geschieht selbstverständlich nach Entfernung aller Gewebe- sowie Füllmaterialreste und unter Anwendung eines Operationsmikroskops. Hierfür können als Hilfsmittel gegebenenfalls exzentrisch angefertigte Röntgenbilder dienen (Koçkapan 2003, DGZMK 2004). Nach diesem Schritt sollte das Pulpenkavum genau inspiziert werden, um eine mögliche Längsfraktur auszuschließen (Diemer 2012). Dies kann auch unter Zuhilfenahme von Methylenblau zur Anfärbung geschehen. Den nächsten Schritt stellt die Entfernung alter Wurzelkanalfüllungen dar, wobei die Vorgehensweise je nach Wurzelkanalfüllmaterial differiert. Das am häufigsten verwendete Material ist Guttapercha, welches mittels spezieller Revisionsfeilen entfernt wird (Koçkapan 2003). Zusätzlich zur manuellen (mittels H-Feilen) oder maschinell vollrotierenden Revision kann die Anwendung von Lösungsmitteln hinzugezogen werden. Neben Eukalyptusöl, Halothan, Xylol oder Orangenöl sollte Chloroform allerdings nur bei äußerst strenger Indikation verwendet werden, da es laut Mitteilung XXVI der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe begründeten Verdacht auf Kanzerogenität liefert und nach einer Studie von *Barbarossa et al.* 1994 zytotoxisch ist. *Schaller et al.* bestätigten dies auch bereits 1994 innerhalb der „BAT Value Documentation“. Laut Studien von *Wennberg & Ørstavik* 1989 ist Methylchloroform als Alternative weniger kanzerogen und toxisch. Es ist zudem möglich, Ultraschallansätze vor allem zur Suche zusätzlicher Kanaleingänge sowie der hauptsächlich koronalen Entfernung des Wurzelfüllmaterials anzuwenden. Des Weiteren kann auch der Einsatz von Hitze (u. a. erhitzbare Spreader-Enden von *System B*, Heat-Carrier) erfolgen (*Baumann et al.* 2003). Im Idealfall gelingt es aber natürlich, die vorhandene Wurzelkanalfüllung in toto zu entfernen. Hierbei sollte versucht werden, eine Feile in den Zwischenraum

von alter Wurzelkanalfüllung und Kanalwand einzurotieren. Die Entfernung von Titan- oder Silberstiften differiert je nach Ausgangssituation. Oftmals ist es z. B. möglich, koronale Enden mit *Stieglitz-Zange* oder Pinzette aus dem Kanal zu entfernen. Gelingt dies nicht, können ultraschallbetriebene Instrumente zum Einsatz kommen, womit der Stift gelockert und somit nach koronal transportiert werden kann.

Manchmal funktioniert es jedoch, den Stift mittels Hand- oder maschinellen Systemen zu umfahren und zu entfernen. Zudem existieren spezielle Greifinstrumente wie z. B. das *IRS Instrument Removal System* der Firma *Dentsply* oder das *Endo-Rescue-Kit* der Firma *Komet*, womit das obere Ende des Stifts fixiert und somit aus dem Kanal befördert werden kann. Zemente und Wurzelkanalfüllpasten lassen sich in den meisten Fällen durch Spülungen – gegebenenfalls unter Zuhilfenahme von Ultraschallaktivierung – leicht aus dem Kanal entfernen (*Koçkapan* 2003). *Krell* und *Neo* experimentierten in Bezug auf diesen Fall bereits 1985 mit einem Ultraschall-Generator der Firma *Cavi Endo*, der auf Basis des Magnetostriktionseffektes funktioniert.

Unabhängig vom entfernten Wurzelkanalfüllmaterial ist nach der Revision aber in jedem Fall immer eine gründliche Aufbereitung des Kanalsystems bis zum Apex notwendig. Auch sollte die neue Wurzelfüllung nicht in der gleichen Sitzung erfolgen (*Koçkapan* 2003), da in nahezu allen Fällen ein massives Keimspektrum vorherrscht. Bei der im Vorfeld der Revision am häufigsten vorliegenden post-endodontischen Infektion finden sich überwiegend fakultativ gramnegative enterische Stäbchen, Streptokokken, koagulasenegative Staphylokokken, *Lactobacillus* sp. und *Candida* sp.. Überwiegend wird jedoch *Enterococcus faecalis* (im Folgenden *E. faecalis*) isoliert, welcher sich aufgrund der erheblichen bakteriellen Konkurrenz bei der primären apikalen Parodontitis nicht derartig behaupten kann (*Baumann & Beer* 2008). *Wang et al.* wiesen 2012 im Rahmen einer *In-vivo*-Studie bei 38 % der Zähne (n=58) mit apikaler Parodontitis *E. faecalis* nach. Zudem konnte festgehalten werden, dass *E. faecalis* bei insuffizient gefüllten Wurzelkanälen besser zu kultivieren war als bei suffizienten Wurzelkanalfüllungen, da wie oben genannt der bakterielle Konkurrenzkampf entfällt. Als medikamentöse Zwischeneinlage bietet sich deshalb Calciumhydroxid für einen Zeitraum von ca. 2-4 Wochen an, da damit die Elimination des besonders resistenten Keims *E. faecalis* erreicht werden kann. Auch *Figdor et al.* empfahlen 2007 eine Calciumhydroxideinlage als Goldstandard der medikamentösen Einlagen. Der Grund hierfür ist die massiv antimikrobielle Wirkung von Calciumhydroxid als stark alkalische Substanz, bis es letztendlich in

Calciumcarbonat umgewandelt wird. So wird bei 90 % der Kanäle eine Bakterienfreiheit erzielt (Gängler *et al.* 2005). Carbajal Mejia *et al.* belegten allerdings 2013, dass Chlorhexidin (im Folgenden CHX) – angewandt als 14-tägige Einlage – gegenüber *E. faecalis* eine deutlich höhere Effizienz als Calciumhydroxid besitzt.

Eine Alternative zur medikamentösen Einlage stellt eine weiterführende Aufbereitung mit höheren ISO-Größen dar, was in vielen Fällen jedoch zu einer starken Schwächung der Zahnschubstanz oder auch zu Mikrorissen führt. Vosen *et al.* wiesen dies 2013 im Rahmen einer Studie nach, in welcher verschiedene vollrotierende und reziproke Systeme miteinander verglichen wurden. So fand bei der Benutzung jedes der angewandten Systeme eine Induktion von Mikrorissen im Wurzelzement statt.

Es ist zudem sehr wichtig, nach jeder Sitzung einen bakteriendichten Verschluss des Wurzelkanalsystems mittels volumenbeständigen, biokompatiblen Füllmaterialien zu gewährleisten (DGZMK 2004).

Hinsichtlich der Instrumentensysteme kommen neben den Handinstrumenten (H-Feilen, K-Feilen, Räumer – in mannigfaltiger Ausführung von verschiedenen Firmen vorliegend) meist vollrotierende Systeme zur Anwendung. So gibt es beispielsweise die Revisionsfeilen von *Mtwo*, *ProTaper* (D1-D3), *R-Endo* (Re, R1, R2, R3, Rs) und *D-RaCe* (die schneidende Feile DR1 mit Taper 10 % zur Anwendung im koronalen Bereich sowie die nicht schneidende Feile DR2 mit Taper 4 % zum Einsatz auf vollständige Arbeitslänge). Die Instrumente weisen hier meist eine schneidende Spitze auf, um ein adäquates Eindringen und eine gute Penetration des Wurzelkanalfüllmaterials zu gewährleisten.

Im Rahmen dieser Studie sollte die Eignung des *Reciproc*-Systems zur Revision von Wurzelkanalfüllungen untersucht werden und mittels lichtmikroskopischer Auswertung die Revisionseffizienz analysiert werden.

2.8 Risiken im Rahmen der Revisionsbehandlung

Hinsichtlich der Risiken ist zu erwähnen, dass jede Revision letztendlich nur einen Versuch darstellt, die Extraktion zu umgehen. Als Zweiteingriff ist diese mit einer höheren Wahrscheinlichkeit mit intra- und postoperativen Problemen behaftet, was unter anderem von Trope 1991, Hülsmann *et al.* 1997, Lovdahl & Gutmann 1997 und Sundqvist & Figdor 1998 belegt wurde. Daher ist eine ausführliche Aufklärung des Patienten im Vorfeld sehr wichtig, damit dieser zwischen Revision und Extraktion abwägen kann.

Grundsätzlich ist jedoch der Zahnerhalt immer vorzuziehen, da sowohl Implantat als auch anderweitige prothetische Versorgungen niemals dem Gefühl der eigenen Zähne gerecht werden können.

Es sollte jedoch bei der Revision von Wurzelperforation, Instrumentenfraktur, Überstopfen des alten Wurzelkanalfüllmaterials, einer möglichen Verschlechterung der Ausgangssituation sowie häufigeren Schmerzzuständen und einer geringeren Erfolgsquote als bei der Erstbehandlung gesprochen werden (*Koçkapan* 2003). Nach *DGZMK* 2004 zählen auch eine Nichtentfernbarkeit des Füllmaterials und das Nichterreichen eines adäquaten apikalen Endpunktes der Aufbereitung und Füllung dazu.

2.9 Prognose von Revisionsbehandlungen

Die Erfolgsrate endodontischer Revisionen beträgt durchschnittlich 77 %, was sich nicht großartig von der endodontischen Initialbehandlung unterscheidet (*Ng et al.* 2008). Die übrige Literatur beschreibt Erfolgsquoten von 60 - 80 % (*Sjögren et al.* 1990, *Trope* 1991, *Friedman* 1994). Sofern präoperativ eine Parodontitis apicalis besteht (früher als so genannte „Gangrän“ bezeichnet), ist die Wahrscheinlichkeit eines Erfolges geringer als bei der Erstdiagnose „Pulpitis“ (*Hülsmann* 2008). So konnte in einer Studie von *Grahnen et al.* bereits 1961 belegt werden, dass bei fehlender apikaler Aufhellung die endodontische Revisionsbehandlung in 94 % der Fälle (n=322) erfolgreich ist. Es trat jedoch auch bei den Fällen mit ausgedehnter apikaler Läsion nach 2 Jahren in 48 % (n=234) eine Restitutio ad integrum ein. In 30 % der Fälle lag eine signifikante Verkleinerung der Parodontitis apicalis chronica vor, in 16 % der Fälle blieb diese unverändert. Nur in 6 % der Fälle kam es nach 2 Jahren zu einer Vergrößerung der Aufhellung.

Zudem tragen iatrogene Veränderungen der Anatomie wie z. B. Begradigung, Perforationen oder Verlagerung des Foramen apicale zu einer wesentlichen Erschwerung der Revision und somit geringeren Erfolgsrate bei (*Hülsmann* 2008). Auch eine Überinstrumentierung und/oder Überfüllung, unabhängig ob dies bei der Erstbehandlung oder Revision geschehen ist, tragen laut einer Studie von *Bergenholtz et al.* 1979 zu einer höheren Misserfolgsrate bei. *Viera et al.* eruierten 2012, dass Misserfolge bei der Revision auch oftmals im Zusammenhang mit persistierenden Mikroorganismen in Lateralkanälen sowie Dentintubuli im Zusammenhang stehen. Nach *Ng et al.* (2008) tragen auch die apikale Extension der Wurzelkanalfüllung (ergo die Suffizienz und Qualität der endodontischen Zweitbehandlung) und die Dich-

tigkeit der koronalen Restauration maßgeblich zu Erfolg oder Misserfolg bei. Es verdeutlicht sich also, dass auch Erfahrung und Geschick des Behandlers die Prognose deutlich beeinflussen. Deshalb besteht durchaus die Möglichkeit zur Verbesserung der Wurzelkanalfüllung durch die Revision. Dies konnte in diversen Studien von *Bergenholtz et al.* 1979 und *van Nieuwenhuysen et al.* 1994 nachgewiesen werden: so gelang in 81 % der Fälle (n=660) eine tiefere und dichtere Aufbereitung. Allgemein kann man auch sagen, dass bei der Revision auf konservativ-endodontischem Weg weitaus höhere Erfolgsraten (72,7 %) als beim retrograd-chirurgischen Weg vorliegen (58,7 %) (*Koçkapan* 2003), weswegen erstere Methode auf jeden Fall vorgezogen werden sollte.

2.10 Bisherige Untersuchungen zur Revisionseffizienz

2.10.1 Vergleich verschiedener Revisionssysteme

Hinsichtlich effektiver Entfernung von Wurzelkanalfüllmaterialien aus Wurzelkanälen liegen bereits diverse Studien vor. So experimentierten *Tamse et al.* 1986 mit dem maschinellen System *GPX* der Firma *Brasseler*, wobei jedoch die Flexibilität des Instruments zu gering war, um auch in gekrümmten Wurzelkanälen die Wurzelkanalfüllung adäquat zu revidieren. 1994 haben *Wilcox et al.* nach konischer Aufbereitung der Kanäle und Füllung mittels lateraler Kondensation (Guttaperchastifte mit *AH-26* bzw. *Roth's 801*) gezeigt, dass durch keine der untersuchten Methoden völlig saubere Kanalwände vorlagen. Hierbei lag das Augenmerk auf verschiedenartigen Spülmethoden, wobei die Anwendung von Ultraschall das Ergebnis merklich verbesserte. Auch *Friedman et al.* verwendeten 1989 rotierende, maschinell angetriebene Instrumente, um die Effektivität von Revisionen zu untersuchen. Hierbei nahmen sie das *Canal Finder*-System zur Hand, wobei der koronale Teil der Wurzelkanalfüllung mit *Gates-Glidden*-Bohrern entfernt wurde und auch Chloroform zum Aufweichen und Auflösen von Guttapercha und Wurzelkanalsealer angewandt wurde. Bei dieser Studie wurde letztendlich aufgezeigt, dass unter Verwendung des *Canal Finder*-Systems eine sichere und schnelle (durchschnittlich 32 s) Revision möglich ist. *Schirrmeister et al.* verwendeten 2006 die maschinell betriebenen *FlexMaster*-, *ProTaper*- sowie *RaCe*-Systeme (*D-RaCe*). Die Ergebnisse wurden dabei mit dem Resultat, das durch manuelle H-Feilen erreicht wurde, verglichen. Es wurde deutlich, dass die Effizienz bei Verwendung der *RaCe*-Feilen signifikant höher als bei den *FlexMaster*- und H-Feilen war. Dabei boten *RaCe* sowie *ProTaper* auch einen entscheidenden Zeitvorteil bei der Durchführung der Revision. 2008 untersuchten *Somma et al.* die Effizienz der *Mtwo Retreatment*- (Revisionsfeile,

Sweden & Martina, Padova, Italien) und *ProTaper*-Revisionsfeilen (*Dentsply Maillefer*, Ballaigues, Schweiz) sowie von manuellen H-Feilen in Bezug auf drei verschiedene Füllmaterialien (*Guttapercha*, *Resilon*, *EndoREZ*) bei der Revision. Im Ergebnis lagen, unabhängig davon, welche Feile und welches Füllungsmaterial verwendet wurde, Reste von Wurzelfüllmaterialien an der Kanalwand vor. Ebenfalls bereits 2008 verglichen *Zanettini et al.* reziprok angetriebene Systeme im Gegensatz zu Handinstrumenten bezüglich der Revisionseffizienz, allerdings geschah dies unter Anwendung von K-Feilen und verschiedenartiger Antriebsmotoren. Auch hier konnte keine vollständige Sauberkeit der Wurzelkanalwände erreicht werden, wobei im apikalen Drittel das meiste residuale Wurzelfüllmaterial vorlag.

2009 führten *Pirani et al.* im Rahmen einer elektronenmikroskopischen Studie die Revision an 36 extrahierten und mittels *Thermafil* und warm-vertikal kompaktierter *Guttapercha* gefüllten Zähnen durch, was mit maschinell betriebenen *NiTi*-Instrumenten sowie manuellen K-Feilen geschah. Hierbei wurde aufgezeigt, dass bei den verschiedenen Revisionstechniken ähnliche Ergebnisse hinsichtlich des Oberflächenprofils des Wurzelkanals vorlagen. Dabei konnte keine Technik adäquat die Füllungsrückstände aus den Dentintubuli des apikalen Drittels entfernen. Ebenfalls 2009 führten *Takahashi et al.* endodontische Revisionen mit *ProTaper*-Feilen durch und verglichen diese mit der Effizienz von *Gates-Glidden*-Bohrern und K-Feilen. Dies geschah bei beiden Systemen jeweils mit und ohne Einsatz von Chloroform als Lösungsmittel. Auch hier zeigte sich residuales Wurzelkanalfüllmaterial bei allen vier Gruppen. Hinsichtlich der verbliebenen Menge lagen keine signifikanten Diskrepanzen vor. *Marfisi et al.* wendeten 2010 ebenfalls *ProTaper*-, aber auch *Mtwo*- und *Twisted Files* zur Revision von *Guttapercha/AH Plus*- und *Resilon*-Obturationen gerader Wurzelkanäle an. Hierbei verdeutlichte sich, dass sich *Resilon* effizienter entfernen ließ. Zusätzlich ging die Revision im Gegensatz zu den beiden anderen Systemen mittels *Mtwo*-Feilen schneller von statten. Ebenfalls *ProTaper*- und *D-RaCe*-, aber auch *Mtwo*-Revisionsfeilen untersuchten *Silva et al.* 2012 in Bezug auf die Effizienz der Entfernung von *Guttapercha* und Sealer. Ausgewählte Gruppen wurden dabei zusätzlich instrumentiert (F4 #40, *RaCe* .04/#40, *Mtwo* .04). Das geringste residuale Wurzelkanalfüllmaterial wies dabei die *ProTaper*-Gruppe auf, was im Vergleich zum *D-RaCe*-System eine signifikante Diskrepanz darstellte. Die additionelle Instrumentierung ergab hierbei keine signifikanten Differenzen. Die Effizienz von 5 Revisionstechniken ermittelten *Kfir et al.* 2012. Die Proben wurden nach Obturation mit lateraler Kompaktion (*Guttapercha* in Kombination mit *AH-26*) mittels H-Feilen und Chloroform, *SafeSider*-Feilen, *NiTi*-Räumer mit anschließender

Instrumentierung mittels einer *Reciproc*-Feile der Größe R40 (mit und ohne Chloroform) sowie *ProTaper*-Universal-Revisionsfeilen (D2, D3) revidiert. Die Evaluation erfolgte zunächst röntgenologisch und anschließend mikroskopisch. Es zeigte sich ein prozentualer Anteil von 11 - 26 % an verbliebenem Wurzelkanalfüllmaterial, wobei zwischen den Gruppen kein signifikanter Unterschied herrschte. Die maschinell angetriebenen Systeme revidierten das Obturationsmaterial jedoch schneller als die manuellen Feilen, wobei die Verwendung von Lösungsmittel darauf keinen Einfluss hatte. Die mikroskopische Evaluation erwies sich zudem als weitaus genauer als die röntgenologische Beurteilung.

2.10.2 Vergleich verschiedener Obturationstechniken

Auch in Bezug auf verschiedene Obturationstechniken liegen einige Studien vor. So lag das Augenmerk von *Bertrand et al.* 1997 auf der Revision von *Thermafil*, welche mit K- und H-Feilen manuell durchgeführt wurde. Hierbei zeigte sich ein leichter Zeitvorteil unter Verwendung von Chloroform als Lösungsmittel.

Im Rahmen der Untersuchungen von *Frajlich et al.* 1998 wurden *Thermafil*-Wurzelkanalfüllungen (mit Kunststoff- oder Metallcarrier) sowie Obturationen der lateralen Kompaktion mittels H-Feilen und Xylene revidiert und hinsichtlich Revisionszeit, residualem Füllmaterial und apikaler Extrusion miteinander verglichen. Es verdeutlichte sich dabei, dass *Thermafil*-Obturationen mit Metallcarrier sowohl die längste Revisionszeit, als auch die meisten Wurzelkanalfüllmaterialreste aufwiesen. Die Revision von *BC-Sealer* der Firma *Brasseler* im Gegensatz zu *AH Plus* in Kombination mit der SCT und konventioneller Guttapercha wurde 2011 von *Hess et al.* eruiert. Dabei wurden sowohl maschinell angetriebene als auch Handinstrumente verwendet. Auch Hitze und Chloroform als Lösungsmittel kam zum Einsatz. Letztendlich konnte allerdings keine vollständige Entfernung des biokeramischen Sealers erfolgen. Auch *Reddy et al.* konzentrierten sich 2011 im Rahmen ihrer Studie auf die Entfernbarkeit verschiedenartiger Sealer in Kombination mit Guttapercha. Dabei wurde ein Epoxidharzsealer einem Zinkoxid-Eugenol-Sealer gegenübergestellt. Die Durchführung der Revision fand mit *Gates-Glidden*-Bohrern in Kombination mit H-Feilen, *ProTaper*-Revisionsfeilen und *R-Endo*-Feilen statt. Letztendlich erwies sich das *R-Endo*-System als signifikant effizienter als die anderen untersuchten Systeme. Außerdem verblieb bei den Proben, welche eine Obturation mit Epoxidharzsealer erhielten, vermehrt Wurzelfüllmaterial an den Kanalwänden. Ebenfalls mit verschiedenen Sealern experimentierten im Jahr 2011 *Siotia et al.*, indem sie Guttapercha in Kombination mit *AH Plus* der Obturation mit Guttapercha

und Zinkoxid-Eugenol-Sealer sowie der Wurzelkanalfüllung mit *GuttaFlow* gegenüberstellten und die Proben mit *ProTaper*-Revisionsfeilen instrumentierten. Auch hier konnte keine vollständige Sauberkeit der Kanäle erreicht werden, jedoch ließ sich das silikonbasierte Obturationsmaterial *GuttaFlow* am effizientesten revidieren. Auf die Revision von WVC konzentrierten sich *Yilmaz et al.* ebenfalls 2011. Im Rahmen dieser Studie wurden die Proben mit *Bee-Fill 2 in 1* (jeweils in Kombination mit *2Seal* und *AH26*) und lateraler Kompaktion in Kombination mit *AH26* obturiert. Anschließend erfolgte der Einsatz von *Mtwo*-Revisionsfeilen, *ProTaper*-Revisionsfeilen und H-Feilen.

Im Ergebnis ermöglichten die *ProTaper*-Revisionsfeilen die schnellste Revision. Insgesamt zeigten diese auch die größte Effizienz. *Beasley et al.* revidierten 2013 *GuttaCore*-, *Thermafil*- und warm vertikal obturierte Wurzelkanalfüllungen leicht gekrümmter Wurzelkanäle mittels *ProTaper*-Feilen, wobei *GuttaCore* die beste Entfernbarkeit aufwies. Zudem traten während der Revision der *Thermafil*-Gruppe signifikant häufigere Instrumentenfrakturen sowie irreversible Verformungen der Feilenstruktur auf.

Nachdem die Entwicklung der endodontischen Systeme einem ständigen Wandel unterliegt, ist es von größtmöglicher Relevanz, auch neuartige Systeme wie *Reciproc* der Firma *VDW* hinsichtlich Eignung und Effizienz bei Revisionen experimentell im Rahmen einer *In-vitro*-Studie zu untersuchen.

3 Ziel der Studie

Intention dieser *In-vitro*-Studie war eine Machbarkeitsanalyse der Revision von Wurzelkanalfüllungen nach vier verschiedenen Obturationstechniken mit dem *Reciproc*-System der Firma VDW. Dieses soll aufgrund der reziproken Antriebstechnik die Aufbereitung des Wurzelkanals mit nur einem einzigen Instrument ermöglichen und damit eine erhebliche Zeitersparnis bieten. Bislang hat dieses System ausschließlich eine Indikation für die maschinelle Aufbereitung von Wurzelkanälen im Rahmen der endodontischen Erstbehandlung. Ziel dieser Studie war es daher zu ermitteln, ob sich dieses Instrumentensystem einerseits überhaupt für die Revisionsbehandlung eignet und eine entsprechende Arbeitssicherheit ausweist. Zum anderen sollte die Reinigungseffizienz nach Entfernung der Wurzelkanalfüllungen analysiert werden. Folgende Obturationstechniken wurden im Rahmen der vorliegenden Studie untersucht:

1. Laterale Kompaktion (LCT): Unter Anwendung eines Fingerspreaders werden bei dieser Technik mehrere Guttaperchaspitzen in den Wurzelkanal eingebracht.
2. Einstifttechnik/Zentralstifttechnik (SCT): Bei dieser Technik wird der Wurzelkanal mit nur einem einzigen Guttaperchastift (= Masterpoint) gefüllt.
3. Thermafil-Technik (TF): Nach Erwärmung in einem speziellen Ofen wird bei dieser Technik der *Thermafil*-Stift in den Wurzelkanal eingeführt. Durch die erwärmte Guttapercha bietet sich hier eine gute Passung zur Kanalwand.
4. Warme vertikale Kompaktion (WVC): Im Rahmen dieser Technik wird ein so genannter „Down Pack“ erstellt. Anschließend wird der restliche, koronale Anteil des Wurzelkanals mittels des *Obtura*-Gerätes, der Back Fill-Pistole und erweichter Guttapercha vertikal aufgefüllt.

Nach der Obturation erfolgte die Revision mittels R40-Feilen (*Reciproc*-Feilen der ISO-Größe 40) und anschließend die quantitative Erfassung der Effizienz am Computer (Programm *Leica Qwin*). Die statistische Analyse erfolgte mittels des Programms *SPSS 19.0*. Auch wurden die jeweils benötigten Zeiten zur Revision in Teilschritten genau gemessen. Ziel der Studie ist die Untersuchung der Kompatibilität des *Reciproc*-Systems in Hinblick auf Revision der oben genannten Obtura-

tionstechniken. Dabei ist nicht nur die Machbarkeit, sondern auch die Effizienz von größtmöglicher klinischer Relevanz.

3.1 Nullhypothesen

Folgende Nullhypothesen sollten überprüft werden:

1. Reziproke Instrumente ermöglichen die Revision von Wurzelkanalfüllungen.

2. Alle Gruppen weisen vergleichbares residuales Wurzelkanalfüllmaterial auf.

3. Alle Gruppen weisen vergleichbare Sealerreste auf.

4. Alle Gruppen weisen vergleichbare Guttaperchareste auf.

5. Die Revisionsdauer ist bei allen Obturationstechniken gleich.

4 Materialien und Methoden

4.1 Versuchsplanung

Die 60 einwurzeligen, humanen Zähne mit rundem Kanalquerschnitt wurden in vier Gruppen eingeteilt. Nach Dekapitierung wurde eine einheitliche Arbeitslänge von 9 mm festgelegt, wobei die Wurzeln auf eine Länge von exakt 10 mm getrimmt wurden. Im Anschluss an die longitudinale Separation der Proben und Fixierung in PUR-Blöcken (Polyurethanharz-Blöcke) erfolgte die Aufbereitung mit R40-Feilen sowie die Obturation mittels der oben genannten Methoden. Nach der Revision, die ebenfalls mit R40-Feilen durchgeführt wurde, erfolgte die lichtmikroskopische Erfassung der Kanallumina der einzelnen Wurzelhälften. Das residuale Wurzelkanalfüllmaterial wurde anschließend quantitativ erfasst und statistisch analysiert.

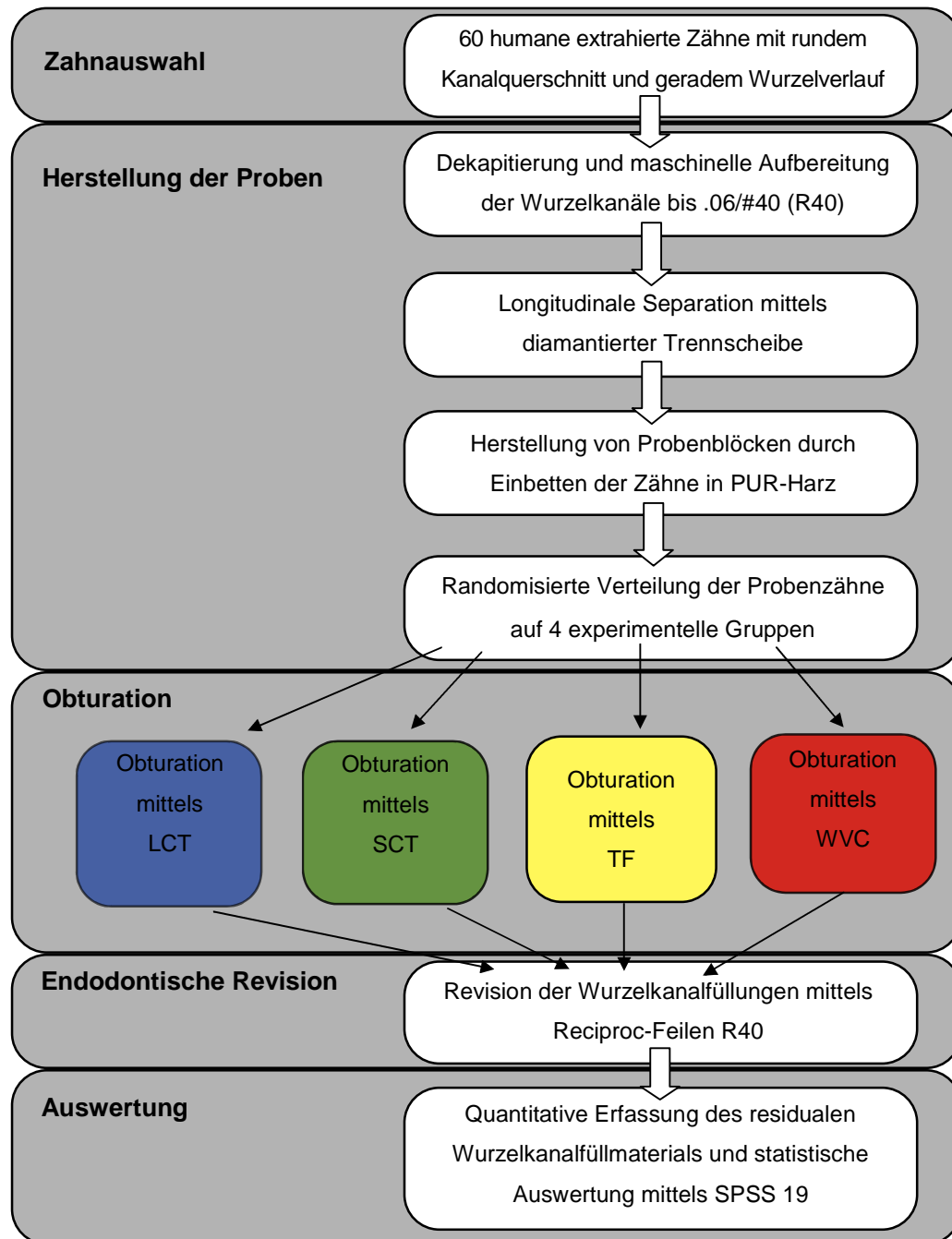


Abb. 1: Ablaufplan der experimentellen Studie (Flowchart)

4.2 Vorbereitung der Proben

Ausgangsmaterial der Arbeit waren 60 einwurzelige, extrahierte humane Zähne mit geraden, runden Wurzelkanälen, welche vor Beginn des Versuchs in 0,5-prozentiger N-Chloro Tosylamid (im Folgenden Chloramin T)-Lösung (Firma *Merck*) gelagert wurden. Nach dem gründlichen Säubern mittels Handinstrumenten (Scaler, Firma

Carl Martin) wurde deren Krone mittels diamantierten Schleifinstrumenten (Firma *Meisinger*) sowie einem roten Winkelstück (Firma *KaVo*) abgetrennt. Die Gängigkeit des Wurzelkanals bis zum Apex wurde mittels *C-Pilot*-Feilen der ISO-Größen 06-10 (Firma *VDW*) kontrolliert. Anschließend wurden die Wurzeln auf eine Länge von jeweils exakt 10 mm getrimmt (Firma *Wassermann*).

4.3 Wurzelkanalaufbereitung

Die Arbeitslänge wurde beschlossen, indem die *C-Pilot*-Feile der ISO-Größe 10 (Firma *VDW*) in den Kanal eingeführt wurde, bis sie am apikalen Foramen sichtbar wurde. Anschließend wurde diese Länge gemessen und davon ein Millimeter subtrahiert. Die Kanäle wurden unter regelmäßiger Spülung (Natriumhypochlorit 3 %, im Folgenden NaOCl) mit *Reciproc*-Feilen der Größe #40/.06 (*R40*, Abb. 2) und *VDW.Silver Reciproc*-Motor (Firma *VDW*, Abb. 3) auf eine Arbeitslänge von 9 mm aufbereitet. Jede Feile wurde dabei jeweils nur für die Aufbereitung einer Probe verwendet. Die *Reciproc*-Feile *R40* wurde auch im Rahmen der Revision zur Analyse der Durchführbarkeit von endodontischen Revisionen mit reziprok arbeitenden Wurzelkanalinstrumenten eingesetzt.



Abb. 2: Beispiel für eine *Reciproc*-Feile *R40* (Größe .06/#40)



Abb. 3: Der VDW.Silver Reciproc-Motor

Hierbei diene die NaOCl-Lösung, welche chemisch das Natriumsalz der hypochlorigen Säure HOCl darstellt, vor allem der Auflösung von organischem Material bzw. Geweberesten und der Desinfektion. Diese undissoziierten HOCl-Moleküle bewirken dabei nach einer Stellungnahme der *DGZ* und *DGZMK* 2000 einen oxidierenden und chlorierenden Effekt.

4.4 Einbetten und Fixieren der Wurzelhälften

Währenddessen erfolgte die stetige Lagerung der Wurzeln in feuchtem, geschlossenen Milieu (Thermoschrank, 37 °C, 95 % Luftfeuchtigkeit). Anschließend wurden mit einer diamantierten Trennscheibe (Firma *Meisinger*) vertikale Sollbruchstellen in Längsachse der Wurzeln geschaffen, welche dann mittels flüssigem Stickstoff (Firma *Linde*) und Skalpell (Firma *Aesculap*) longitudinal separiert wurden. In Abbildung 4 ist der Ablauf der longitudinalen Separation exemplarisch dargestellt. Während der Vorversuche war die Probe bereits dekapitiert.



Abb. 4: Anlegen der Trennscheibe vor der longitudinalen Separation des Zahns

Mit fließfähigem, niedrig gefülltem Kunststoff (*Tetric Flow*, Firma Ivoclar Vivadent) wurden die Wurzelhälften direkt im Anschluss wieder reponiert und jeweils 40 Sekunden lichtgehärtet (*Poly Lux II*, Firma KaVo). Zur Fixation der Wurzelhälften wurden Silikonformen aus spezieller Dubliermasse (Firma Bego, Abb. 5) hergestellt. Dies ermöglichte die Anfertigung zweiteiliger, quadratischer Epoxidharzblöcke (= PUR-Blöcke) (*Biresin G27*, Firma Sika BV, Abb. 6).



Abb. 5: Die Silikonformen der Firma *Bego* zum Erstellen der PUR-Blöcke



Abb. 6: Das *Biresin G27* Polyurethanharz zur Herstellung der Blöcke

Nach der Fertigstellung des unteren Teils (das PUR-Harz musste komplett ausgehärtet sein) wurden zum Rotationsschutz und zur Einbringung der Wurzeln vier Mul-

den, jeweils um 90 Grad versetzt, mit einer kreuzverzahnten Fräse (Firma *Dental Liga*) eingebracht.

Die Wurzeln wurden dort mit *Tetric Flow* (Firma *Ivoclar Vivadent*), stopfbarem Komposit (Firma *3M Espe*) sowie weichbleibendem Ausblockwachs (Firma *Sigma Dental Systems Esmadi GmbH*) fixiert. Dabei war zu beachten, dass die Wurzeln jeweils genau bis zur Hälfte eingebettet waren.

Nun erfolgte das Ausblocken an einer der vier Blockseiten mit rosa Plattenwachs (Firma *Dental Liga*), um damit eine spätere adäquate Separation zu ermöglichen. Anschließend wurde nach Isolation des unteren Teils (Spezial-Isolierflüssigkeit *Vita Zeta HC*, Firma *Vita*, Abb. 7) der obere Teil des Blockes hergestellt und die zwei Teile nach Vorbohrung mit Gewindeschrauben und Kontermutter der Größe M4 (Firma *Dresselhaus*) fixiert. Abbildung 8 zeigt eine vollständig in PUR-Harz eingebettete Probe. Linksseitig der Wurzel ist das stopfbare Kompositmaterial (*3M Espe*, Neuss), rechtsseitig das weichbleibende Ausblockwachs zu erkennen.



Abb. 7: Das *Special Insulating Liquid* der Firma *Vita* zur Isolation der einzelnen Blockhälften



Abb. 8: Reponierter Probenzahn nach Einbettung in eine teilbare PUR-Harzform

4.5 Einteilung der Proben und Wurzelkanalfüllung

Zur Eruierung verschiedener Obturationstechniken wurden die Blöcke in 4 Gruppen (n=15) Zähne eingeteilt, die jeweils verschiedenartigen Wurzelkanalfülltechniken unterzogen wurden. Gruppe 1 (LCT) erhielt Wurzelkanalfüllungen der lateralen Kompaktionstechnik. Durch die flexible Beschaffenheit der Guttapercha ist hier eine Wurzelkanalfüllung mit mehreren Guttaperchaspitzen möglich. Diese werden unter Anwendung eines Fingerspreaders in Kombination mit Wurzelkanalsealer neben dem eigentlichen Masterpoint zusätzlich eingebracht.

Materialien waren der Sealer *AH Plus* (Firma *Dentsply*) sowie zweiprozentige Guttaperchastifte der ISO-Größe 40 (Firma *VDW*) als Masterpoint. Als Nebenstifte wurden ebenfalls zweiprozentige Guttaperchaspitzen der ISO-Größen 20 und 25 verwendet (Firma *VDW*).

Das Einbringen des Sealers erfolgte mit normierten *Reciproc*-Papierspitzen der Größe R40 (Firma *VDW*, Abb. 9).



Abb. 9: Die Reciproc-Papierspitzen R40

Hierbei stellt *AH Plus* einen Zweikomponenten-Sealer (Paste-Paste-System dar, welcher auf einer Epoxid-Amin-Polymer-Basis basiert (Abb. 10)). Dabei enthält Paste A Epoxidharze, Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil sowie Eisenoxid. Paste B besteht dabei aus Aminen, Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Silikonöl. Des Weiteren setzen sich die Guttaperchastifte aus Guttapercha (Kautschukderivat und eingetrockneter Milchsaft des Guttaperchabaumes, welcher im malaiischen Raum heimisch ist), Zinkoxid, Bariumsulfat sowie diversen Farbstoffen zusammen (Wider 2004).



Abb. 10: Der Zweikomponentensealer *AH Plus*, Basis- und Katalysatorpaste

Anschließend wurden alle in den Wurzelkanal eingebrachten Guttaperchaspitzen mit einem Heidemann-Spatel (*Aesculap*, Tuttlingen) heiß abgetrennt und mittels Plugger (*Aesculap*, Tuttlingen) gering vertikal kompaktiert. Die Abbildungen 11 und 12 zeigen eine Probe der Gruppe LCT nach erfolgter Obturation.



Abb. 11: Beispiel für eine Probe der Gruppe LCT nach erfolgter Obturation

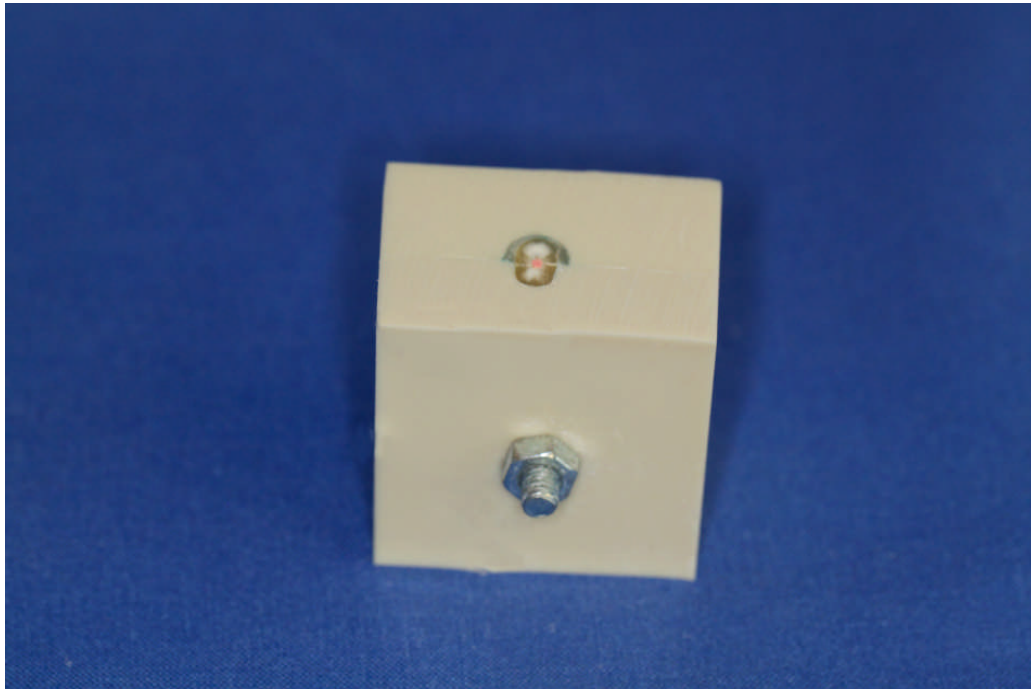


Abb. 12: Beispiel für einen mit LCT obturierten Probenzahn im PUR-Block

Gruppe zwei wurde mittels Einstifttechnik gefüllt (SCT). Bei dieser Technik wird der Wurzelkanal mit nur einem einzigen Guttaperchastift (= Masterpoint) gefüllt, wie die Abbildungen 14 und 15 verdeutlichen. Auch hier wird der Residualraum zur Kanalwand mit Wurzelkanalsealer gefüllt. Der Vorteil dieser Methode liegt in einer Zeit- und Materialersparnis.

Materialien waren hier wiederum *AH Plus* und *Reciproc*-Papierspitzen zur Benetzung der Kanalwand mit Sealer sowie genormte *Reciproc*-Guttaperchastifte in der Größe .06/#40 (Firma VDW, Abb. 13).



Abb. 13: Normiertes *Reciproc*-Guttaperchastifteset in den 3 angebotenen Größen

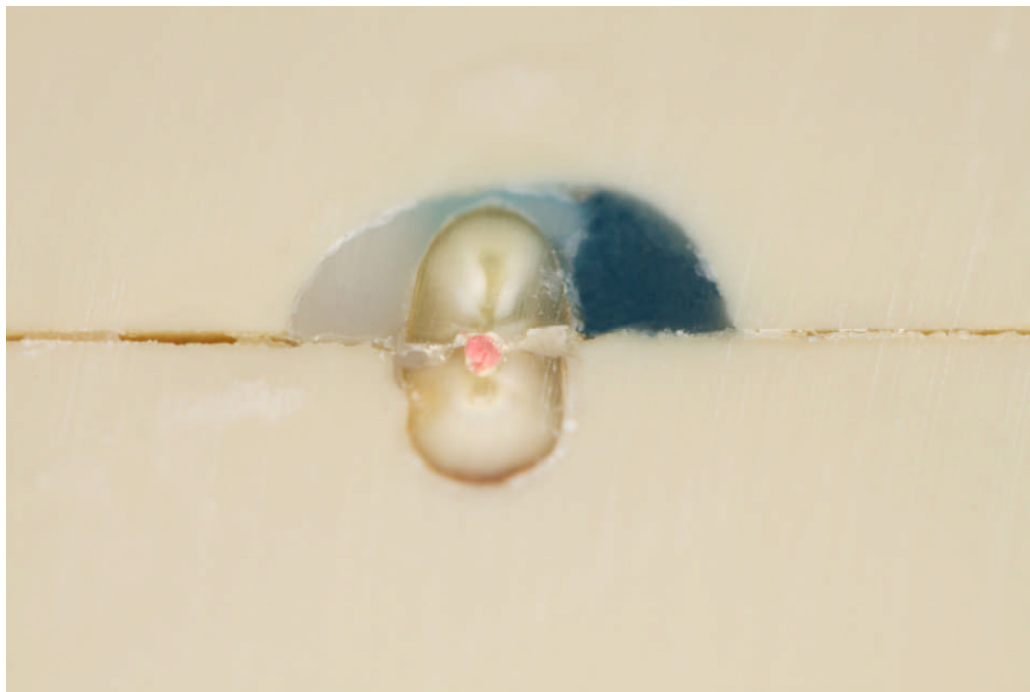


Abb. 14: Beispiel für eine Probe der Gruppe SCT nach erfolgter Obturation

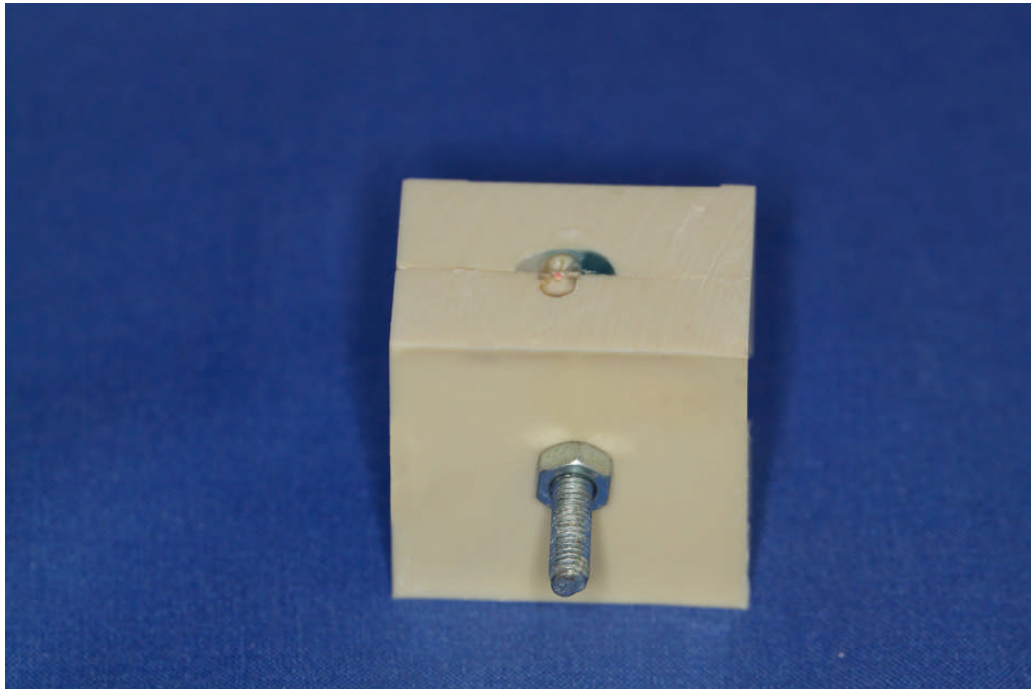


Abb. 15: Beispiel für die mit der SCT-Technik gefüllte Probe im PUR-Block

Das *Thermafil*-System (TF) kam bei Gruppe 3 zur Anwendung. Hierbei wurde nach Einbringung einer dünnen Schicht *AH Plus*-Sealer mittels genormter Papierspitze ein *Thermafil*-Obturator aus Kunststoff (Firma *Dentsply Maillefer*) der Größe #35 im *Thermaprep*-Ofen (Firma *Dentsply DeTrey*) erhitzt. *Thermafil*-Obturatoren bestehen aus einem Heat Carrier, welcher von Guttapercha ummantelt ist. Nach einer für die jeweilige ISO-Größe definierten Zeit wurde dieser in den Wurzelkanal eingebracht und anschließend heiß abgetrennt. Durch die erwärmte Guttapercha bietet sich hier eine gute Passung zur Kanalwand. Die Abbildungen 16 und 17 zeigen eine wurzelkanalgefüllte Probe der Gruppe TF.



Abb. 16: Beispiel für eine Probe der Gruppe TF nach erfolgter Obturation

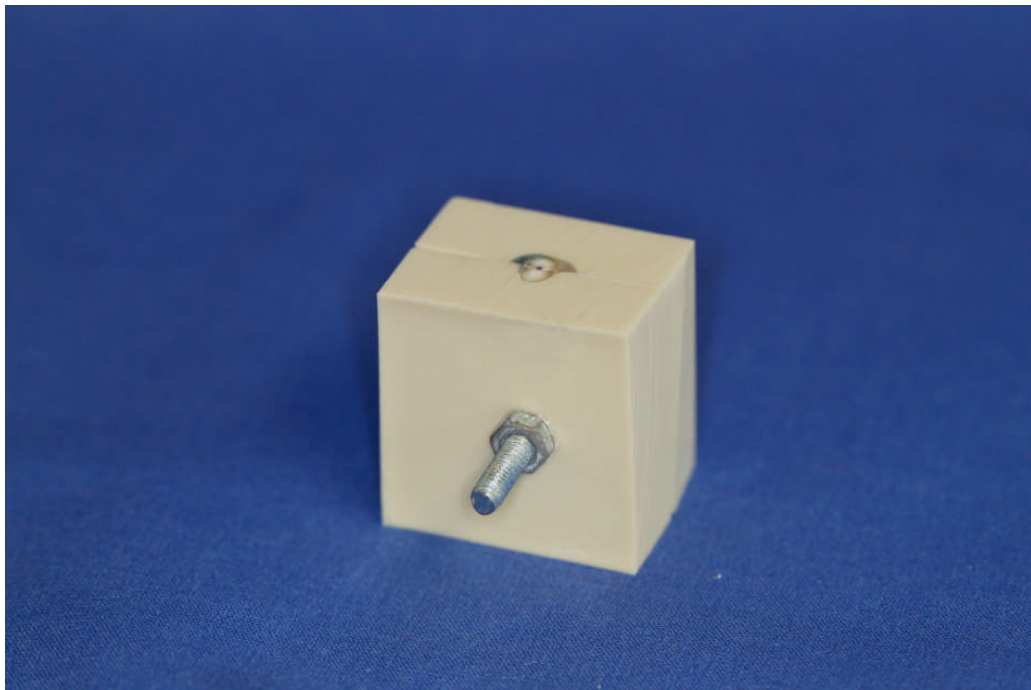


Abb. 17: Beispiel für eine mit TF gefüllte Probe im PUR-Block

Das warm vertikale Obturationsverfahren (WVC) fand bei Gruppe 4 Anwendung. Hierbei wurde nach Applikation einer geringen Menge Sealer (*AH Plus*), eingebracht mit *Reciproc*-Papierspitze, mittels eines genormten *Reciproc*-Masterpoints der ISO-

Größe #40.06 (Firma VDW) ein sogenannter „Down Pack“ von 2 mm angelegt. Hierbei war apikal eine gute Klemmpassung wichtig. Der Sealer gleicht explizit bei dieser Technik die Schrumpfung der Guttapercha nach der Abkühlung aus und bietet außerdem einen Schutz des periradikulären Gewebes gegen die Hitzeeinwirkung. Anschließend wurde mittels eines Heat Carriers (System B, Firma *Analytic Technology*) der Guttaperchastift 3-4 mm oberhalb des apikalen Terminus abgeschmolzen. Danach wurde der restliche, koronale Anteil des Wurzelkanals mittels der *Obtura II Gun* (Firma *Obtura Corporation*) und erweichter Guttapercha vertikal aufgefüllt und geringfügig unter Anwendung eines Pluggers (Firma *Aesculap*) nach apikal verdichtet. Die WVC bietet eine homogene Wurzelkanalfüllung auch bei Ausbuchtungen, internen Resorptionen und c-förmigen Kanälen. Beispiele einer Probe nach diesem Arbeitsschritt sind in den Abbildungen 18 und 19 zu sehen.

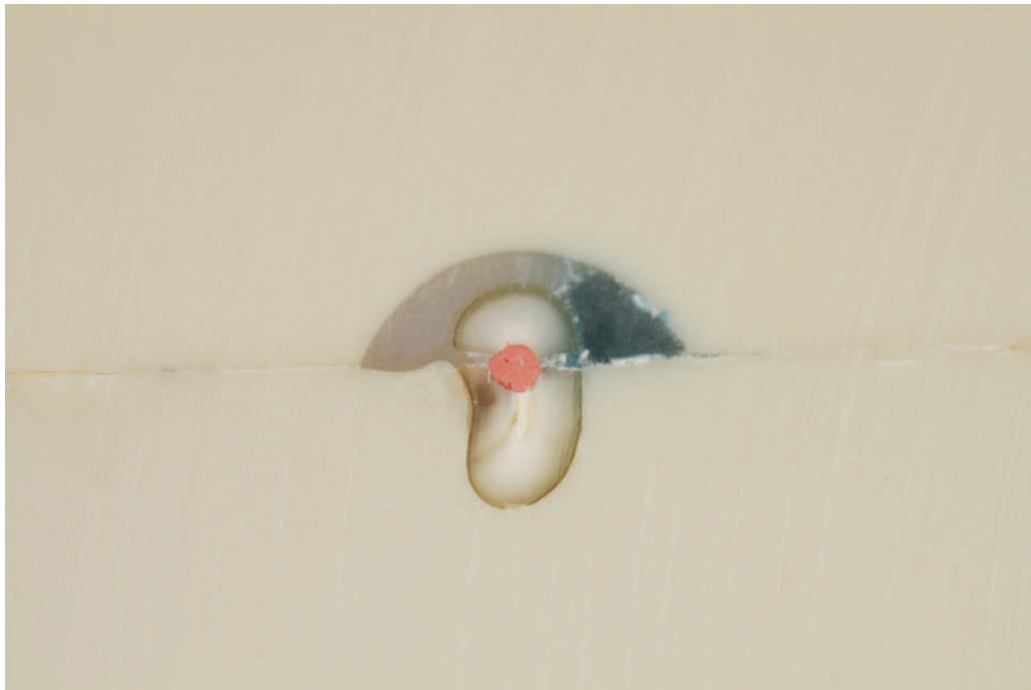


Abb. 18: Beispiel für eine Probe der Gruppe WVC nach erfolgter Obturation



Abb. 19: Beispiel für eine mit der WVC-Technik gefüllte Probe im PUR-Block

4.6 Revision der Wurzelkanalfüllungen

Nachdem alle Wurzeln nun nach den jeweiligen Wurzelkanalfülltechniken gefüllt wurden, erfolgte eine Lagerung von 7 Tagen in geschlossenem, feuchten Milieu (Thermoschrank, 37 °C, 100 % Luftfeuchtigkeit), um eine genügende Festigkeit des Sealers zu gewährleisten. Nach Ablauf der Wartezeit wurde nun die Revision durchgeführt, wobei bewusst kein Lösungsmittel verwendet wurde. Diese erfolgte wiederum mittels Feilen der Firma *Reciproc* in Größe #40/.06, *VDW.Silver Reciproc*-Motor, Wechsspülung (NaOCl und EDTA) und genormten Papierspitzten der Firma *VDW* in Größe #40/.04. Auch hier wurde jede Feile nur für jeweils eine Probe verwendet.

EDTA (Ethyldiamintetraacetat) ist das Tetraanion der Ethyldiamin-tetraessigsäure und ein sechszähliger Komplexbildner, welcher 1:1-Chelatkomplexe mit Kationen mit einer Ladungszahl von mindestens +2 bildet. Bei der Wurzelkanalspülung dient es zur Entfernung der Schmierschicht (wobei es die anorganischen Bestandteile eliminiert) sowie der Freilegung der Dentintubuli-Eingänge. Nachdem NaOCl, wie bereits oben erwähnt, die organischen Gewebereste entfernt, erweist sich eine Wechsspülung mit selbiger als besonders effektiv (*Carvalho et al.* 2008, *Teixeira et al.* 2005). NaOCl sollte jedoch in vivo mit höchster Vorsicht angewandt werden,

da das forcierte Eindringen dieser Spüllösung in das periapikale Gewebe verhindert werden sollte (*Schwerin et al.* 2007).

Der Vorgang der Revision wurde dabei in vier verschiedene Abschnitte eingeteilt, welche jeweils mit einer Stoppuhr (Firma *Hanhart*) zeitlich exakt gemessen wurden:

- **Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge:** die Arbeitslänge war durch das Abmessen der Wurzeln ja vorgegeben und betrug 9 mm. Es erfolgte eine Markierung der *Reciproc*-Feile mit einem Röntgenstopper auf diese Länge.
- **Zeit bis zur Entfernung der Guttapercha:** hier wurde die sichtbare Guttapercha revidiert.
- **Spüldauer:** die Wurzeln wurden mittels Wechselspülung (NaOCl und EDTA) gespült, um weitere Rückstände des Füllmaterials zu entfernen.
- **Trocknungsdauer:** mittels normierten *Reciproc*-Papierspitzen der Firma *VDW* (#40/.04) erfolgte die Trocknung der Kanäle, bis sich keine Rückstände der Spülflüssigkeiten mehr an der Papierspitze befanden.

Daraufhin wurden die Schrauben gelöst und die Kunststoffblöcke mit den getrennten Wurzeln wieder separiert, so dass eine deutliche Einsicht der Wurzelhälften inklusive der revidierten Wurzelkanäle gewährleistet war (Abb. 20). Die Kerbe rechts stellt den ausgeblockten Anteil des Blockes dar, wodurch unter Anwendung eines Wachsmessers (Firma *Dental Liga*, Köln) eine Wiederöffnung möglich war. Dies ermöglichte nun die quantitative Auswertung sowohl der Gesamtfläche des jeweiligen Wurzelkanals, als auch der Sealer- und Guttapercharestes mittels des Programms *Leica Qwin* (Firma *Leica Microsystems*).

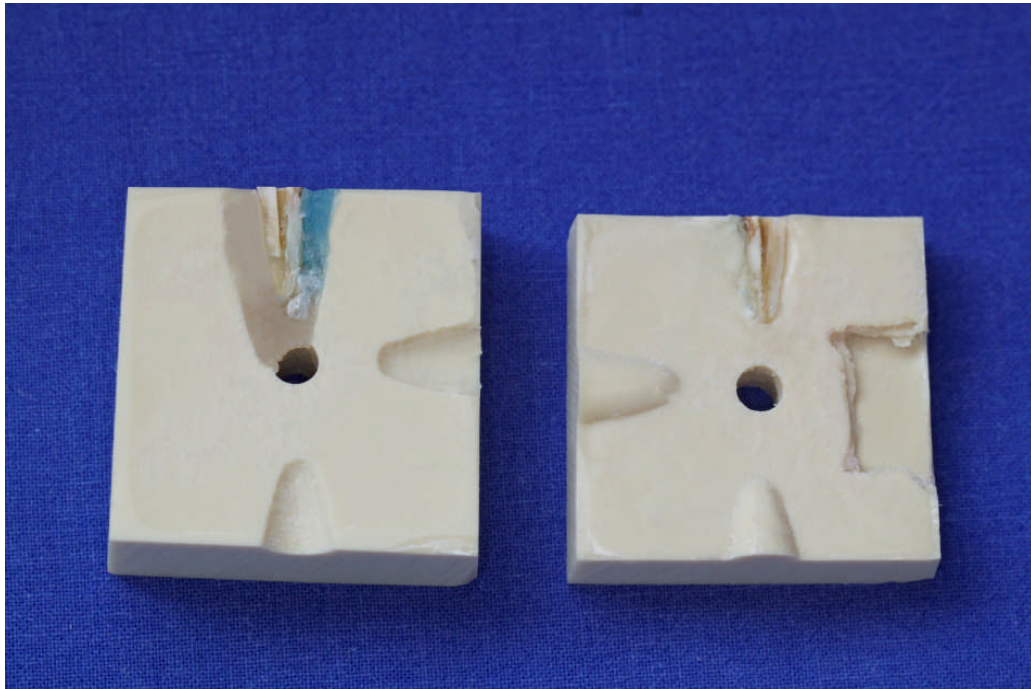


Abb. 20: Eine in einen PUR-Block eingebettete Probe nach Revision und Teilung

4.7 Probenauswertung

Als vorbereitende Maßnahme für die Auswertung wurden die korrespondierenden Wurzelkanalhälften mittels eines wasserfesten Stifts in 3 Kanalabschnitte (koronales, mittleres sowie apikales Drittel) eingeteilt und markiert (Firma *Edding*). Jedes Kanal Drittel betrug exakt 3 Millimeter, wie Abbildung 21 zeigt. Alle PUR-Block-Hälften wurden beschriftet, damit wieder eine exakte Zuordnung möglich wäre.



Abb. 21: Das Kompositbild mit angelegtem Messlineal zeigt die Einteilung der Wurzelhälften vor der Erfassung des residualen Wurzelfüllmaterials

Anschließend erfolgten die lichtmikroskopischen Aufnahmen mittels einer Digitalmikroskopkamera (Firma *Leica Microsystems*) und der dazu gehörigen Software *Leica Application Suite*, wobei die jeweiligen Hälften mit allen Dritteln des

Wurzelkanals komplett auf einer Datei abgebildet wurden. Der Dateiname entsprach der jeweiligen Beschriftung auf der PUR-Block-Hälfte.

Mittels *Leica QWin* (Abb. 22) erfolgte nach vorheriger Kalibrierung die Markierung und Berechnung der Gesamtflächen der jeweiligen Kanaldrittelle die quantitative Auswertung der nach Revision verbliebenen Sealer- und Guttapercharestes in Bezug auf die vier Obturationstechniken, welche getrennt und immer prozentual bezogen auf die gesamte Fläche kalkuliert wurden. Auf der Abbildung ist deutlich zu sehen, wie die mit WF-Material bedeckten Areale mit dem Mauszeiger umfahren und rot markiert wurden.

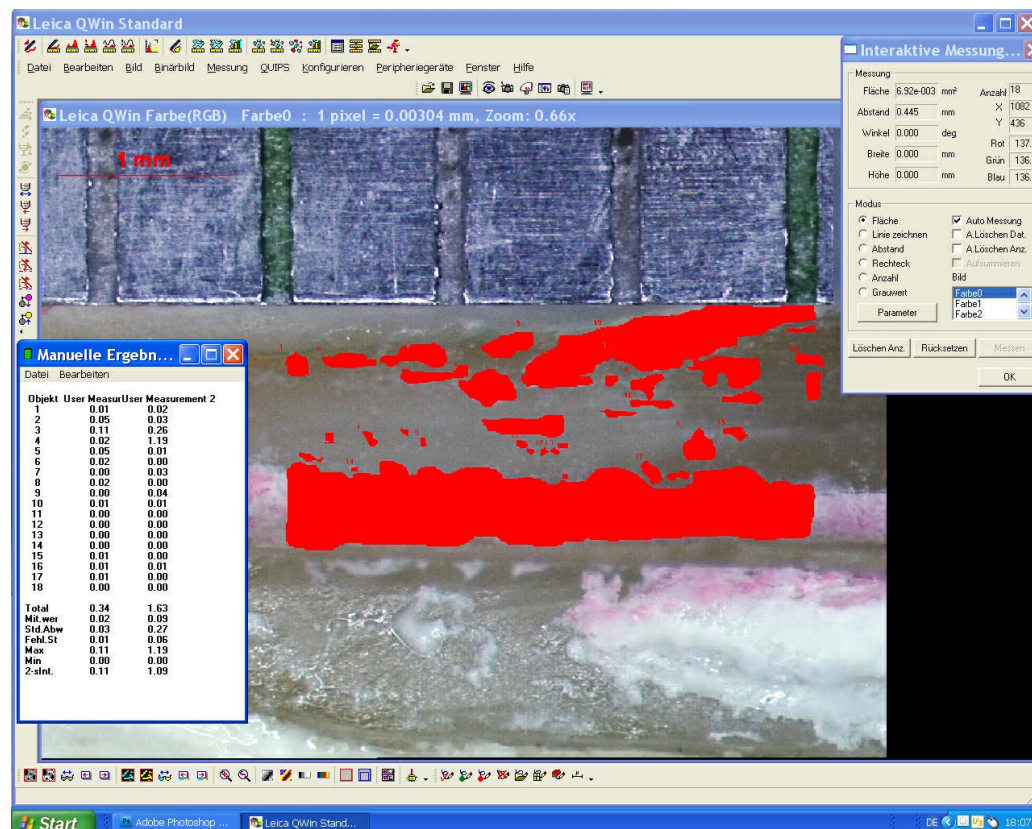


Abb. 22: Screenshot während der Analyse des residualen Wurzelkanalfüllmaterials mittels des Programms *Leica QWin*

Anschließend wurden zudem die jeweiligen Sealer- und Guttapercharestes addiert und als gesamtes Wurzelkanalfüllmaterial, wiederum prozentual in Bezug auf die Gesamtfläche erfasst, ausgegeben. Alle Werte wurden in einer *Microsoft Excel*-Tabelle mitsamt den gemessenen Revisionszeiten dokumentiert.

4.8 Statistische Analyse

Die statistische Analyse der Daten erfolgte unter Verwendung des Statistikprogramms *SPSS Win 19.0* (Firma *IBM*, Armonk, NY, USA). Dazu wurden nicht-parametrische Tests (Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-Test) angewandt und der Signifikanzwert auf $p \leq 0,05$ gesetzt. Berechnet wurden die Werte der in dieser Studie untersuchten Kriterien „Sealerreste“, „Guttapercharestes“, „residuales Wurzelkanalfüllmaterial“ in den drei verschiedenen Kanalabschnitten sowie zur Revisionsdauer die einzelnen Aspekte „Zeit zum Erreichen der Arbeitslänge“, „Zeit, bis Wurzelkanalfüllmaterial visuell entfernt“ und „Gesamtrevisionsdauer“ unter Einschluss der Faktoren Spülung und Trocknung des Wurzelkanals.

Zudem wurden Boxplot-Diagramme angefertigt, um die Daten visuell darzustellen. Dabei sind neben dem Medianwert auch der Interquartilsbereich sowie der Minimal- und der Maximalwert dargestellt. In einigen Fällen sind ferner milde und extreme Ausreißer dargestellt, sofern sie auftraten. Im Text sind signifikante Unterschiede mit einem Sternchen hervorgehoben.

5 Ergebnisse

Die statistische Auswertung mittels der eingesetzten nicht-parametrischen Tests wird im Folgenden dargestellt. Die Einzelwerte für die prozentualen Daten für Sealerreste sind in Tab. 1, die Daten für Guttaperchareste in Tab. 2 und die Werte für die Reste an Wurzelkanalfüllmaterial in Tab. 3 im Anhang dargestellt.

5.1 Prozentualer Anteil an Sealerresten

Insgesamt war der prozentuale Anteil an verbliebenen Sealerresten abhängig von der Obturationstechnik sowie von der Kanalregion. Folglich reichten die Medianwerte der Sealerreste von 6,78 % bis 42,91 % (Tab. 1).

5.1.1 Apikales Drittel

Im apikalen Drittel zeigten sich bei der LCT- sowie bei der TF-Gruppe die geringsten Sealerreste (Abb. 23). Die Medianwerte reichen von 14,04 % der bedeckten Kanaloberfläche (TF-Gruppe) bis zu 37,36 % (SCT-Gruppe) (Tab.1).

Die statistische Auswertung ergab signifikante Unterschiede hinsichtlich der mit Sealer bedeckten apikalen Kanaloberfläche zwischen den einzelnen Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,016^*$). Die paarweise Analyse mittels Mann-Whitney-Test ergab folgende Werte:

LCT vs. SCT:	$p = 0,002^*$
LCT vs. TF:	$p = 0,879$
LCT vs. WVC:	$p = 0,358$
SCT vs. TF:	$p = 0,007^*$
SCT vs. WVC:	$p = 0,190$
TF vs. WVC:	$p = 0,354$

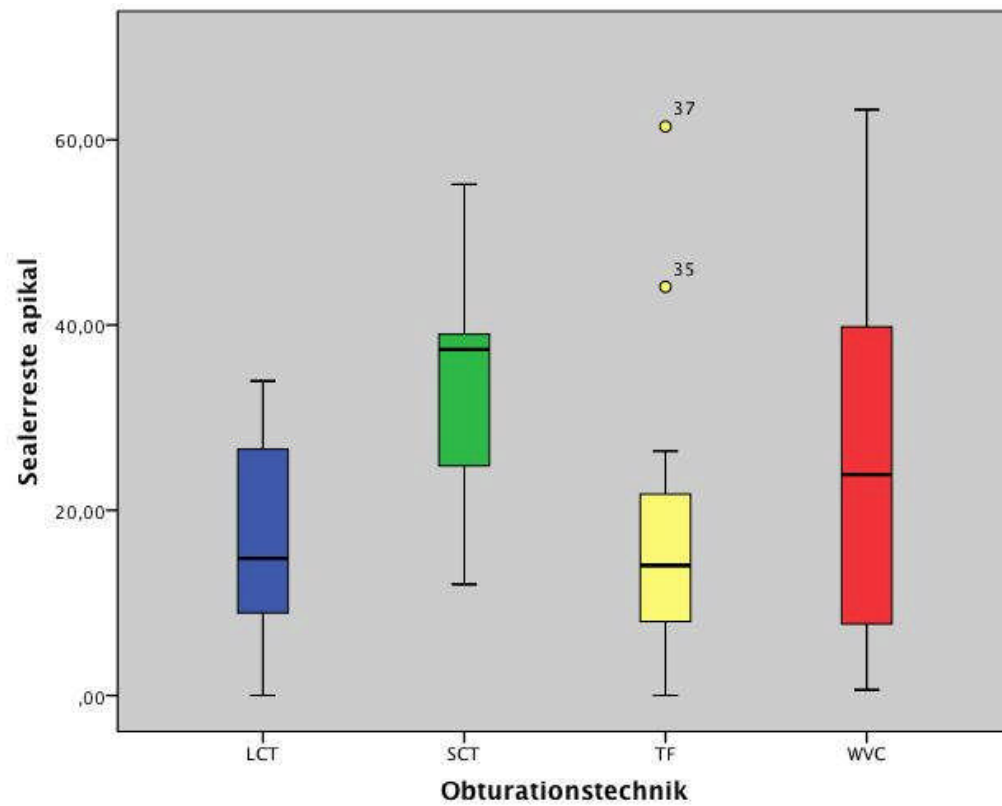


Abb. 23: Sealerreste im apikalen Kanalanteil der vier experimentellen Gruppen

5.1.2 Mittleres Drittel

Im mittleren Drittel reichten die Medianwerte von 7,26 % (TF-Gruppe) bis zu 35,96 % (SCT-Gruppe) (Tab. 1), wobei die SCT-Gruppe den höchsten Wert der Sealerreste aufwies (Abb. 24). Die Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,001^*$) waren signifikant, wobei der Mann-Whitney-Test für SCT-Gruppe signifikante Unterschiede ergab:

LCT vs. SCT: $p = 0,029^*$

LCT vs. TF: $p = 0,222$

LCT vs. WVC: $p = 0,215$

SCT vs. TF: $p = 0,001^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,001^*$

TF vs. WVC: $p = 0,810$

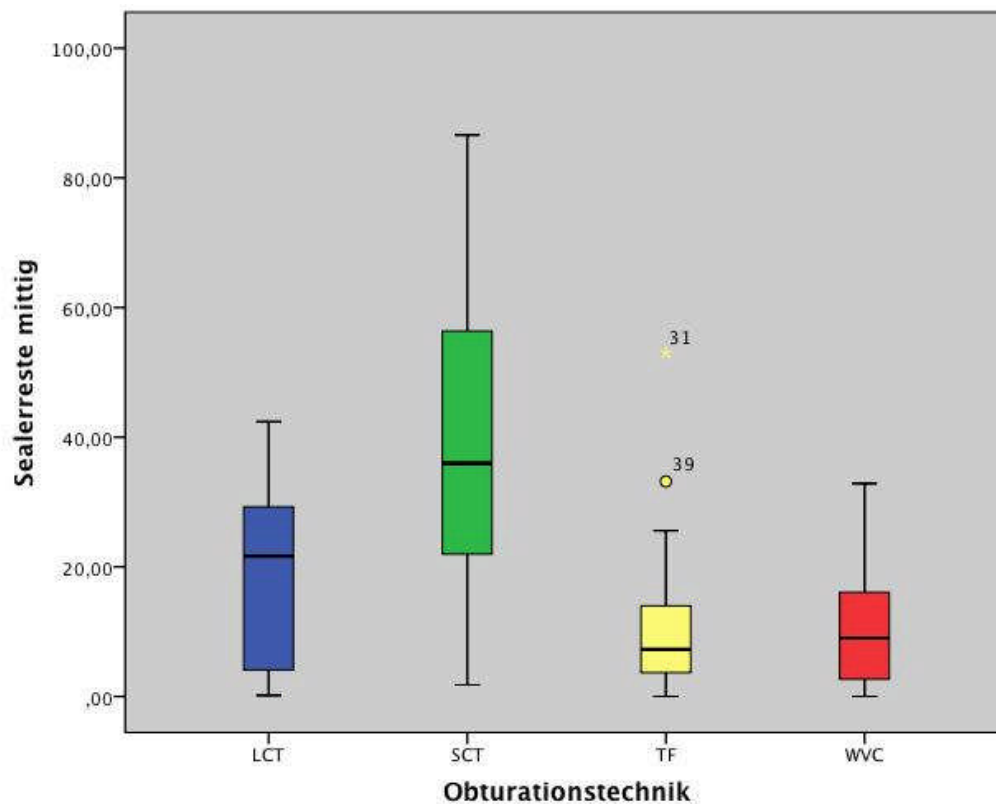


Abb. 24: Sealerreste im mittleren Kanalanteil der vier experimentellen Gruppen

5.1.3 Koronales Drittel

Auch im koronalen Drittel zeigte die SCT-Gruppe (Abb. 25) die höchsten Anteile an Sealerresten (Median: 42,91 %). Auch hier wurden signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,004^*$). Verantwortlich hierfür war erneut die SCT-Gruppe, welche nach der Revision signifikant höhere Werte für verbliebene Sealerreste aufwies als alle übrigen Gruppen (Mann-Whitney-Test):

LCT vs. SCT: $p = 0,005^*$

LCT vs. TF: $p = 0,190$

LCT vs. WVC: $p = 0,550$

SCT vs. TF: $p = 0,044^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,002^*$

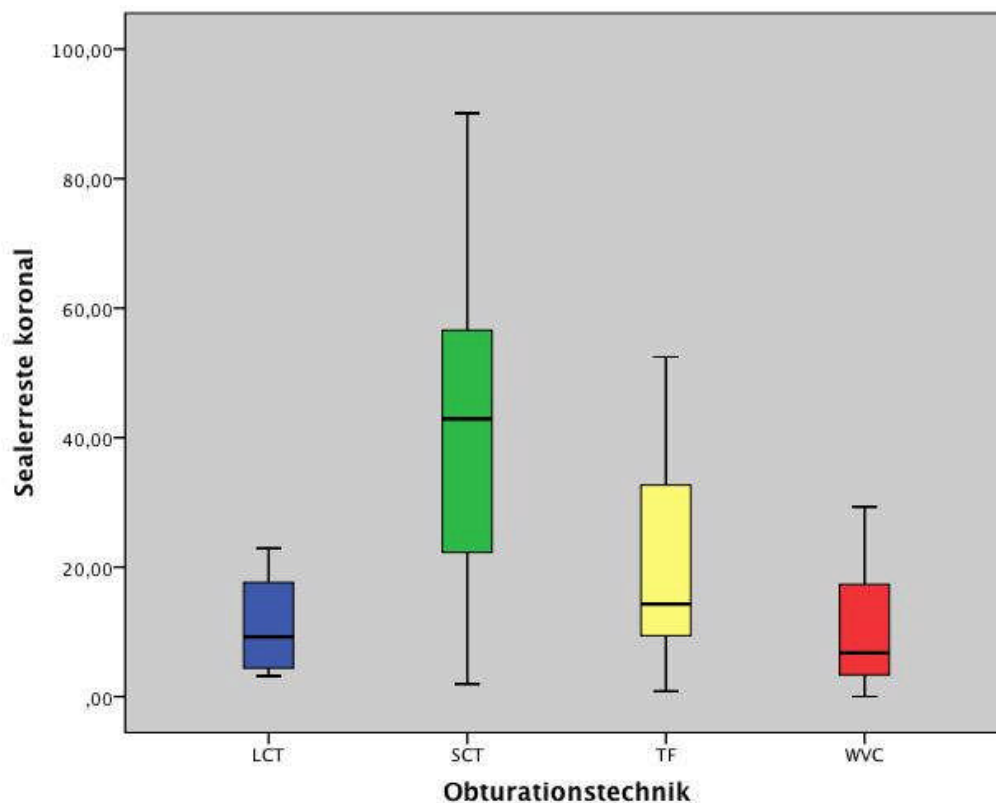


Abb. 25: Sealerreste im koronalen Kanalanteil der vier experimentellen Gruppen

5.2 Prozentualer Anteil an Guttapercharesten

5.2.1 Apikales Drittel

Die Analyse der Guttapercharesten ergab signifikante Unterschiede zwischen den experimentellen Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,004^*$). Die Medianwerte reichten von 0 % bei der SCT-Gruppe bis zu 48,36 % bei der WVC-Gruppe (Tab. 2). Die durch den Mann-Whitney-Test berechneten Daten ergaben signifikant niedrigere Werte an Guttapercharesten (Abb. 26) für die SCT-Gruppe:

LCT vs. SCT: $p = 0,002^*$

LCT vs. TF: $p = 0,093$

LCT vs. WVC: $p = 0,854$

SCT vs. TF: $p = 0,010^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,008^*$

TF vs. WVC: $p = 0,190$

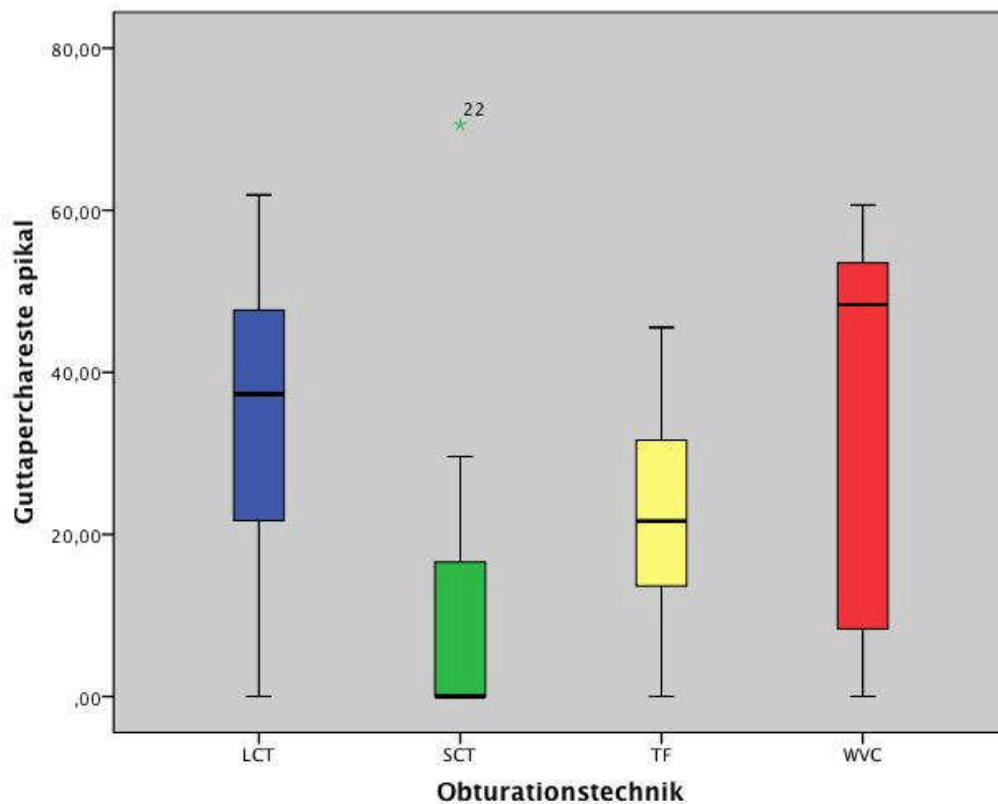


Abb. 26: Guttapercharesten im apikalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.2.2 Mittleres Drittel

Auch im mittleren Kanaldrittel waren signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,000^*$). Die SCT-Gruppe wies signifikant geringere Guttapercharesta auf (Abb. 27). Die Medianwerte reichten von 0 % (SCT-Gruppe) bis zu 30,04 % (LCT- und WVC-Gruppe), wie Tab. 2 zu entnehmen ist. Die paarweisen Vergleiche mittels Mann-Whitney-Test ergaben folgende Signifikanzwerte:

LCT vs. SCT:	$p = 0,000^*$
LCT vs. TF:	$p = 0,896$
LCT vs. WVC:	$p = 0,854$
SCT vs. TF:	$p = 0,000^*$
SCT vs. WVC:	$p = 0,000^*$
TF vs. WVC:	$p = 0,930$

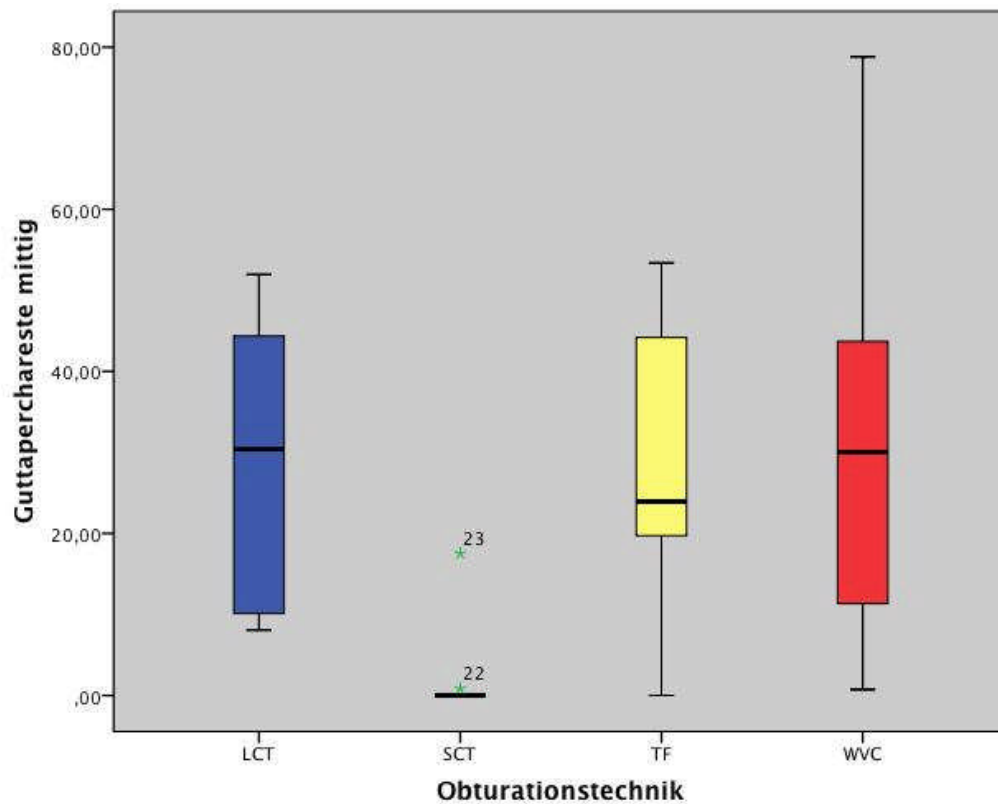


Abb. 27: Guttapercharesta im mittleren Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.2.3 Koronales Drittel

Auch im koronalen Drittel lagen signifikante Unterschiede hinsichtlich der Guttapercharesten vor (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,000^*$). Die Medianwerte lagen bei der SCT-Gruppe wiederum bei 0 % und reichten bis zu 23,45 % bei der TF-Gruppe (Tab. 2). Hier zeichnete sich die SCT-Gruppe erneut durch signifikant geringere Werte gegenüber allen übrigen Gruppen aus (Abb. 28). Der Mann-Whitney-Test ergab folgende Signifikanzwerte:

LCT vs. SCT: $p = 0,000^*$

LCT vs. TF: $p = 0,930$

LCT vs. WVC: $p = 0,713$

SCT vs. TF: $p = 0,000^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

TF vs. WVC: $p = 0,760$

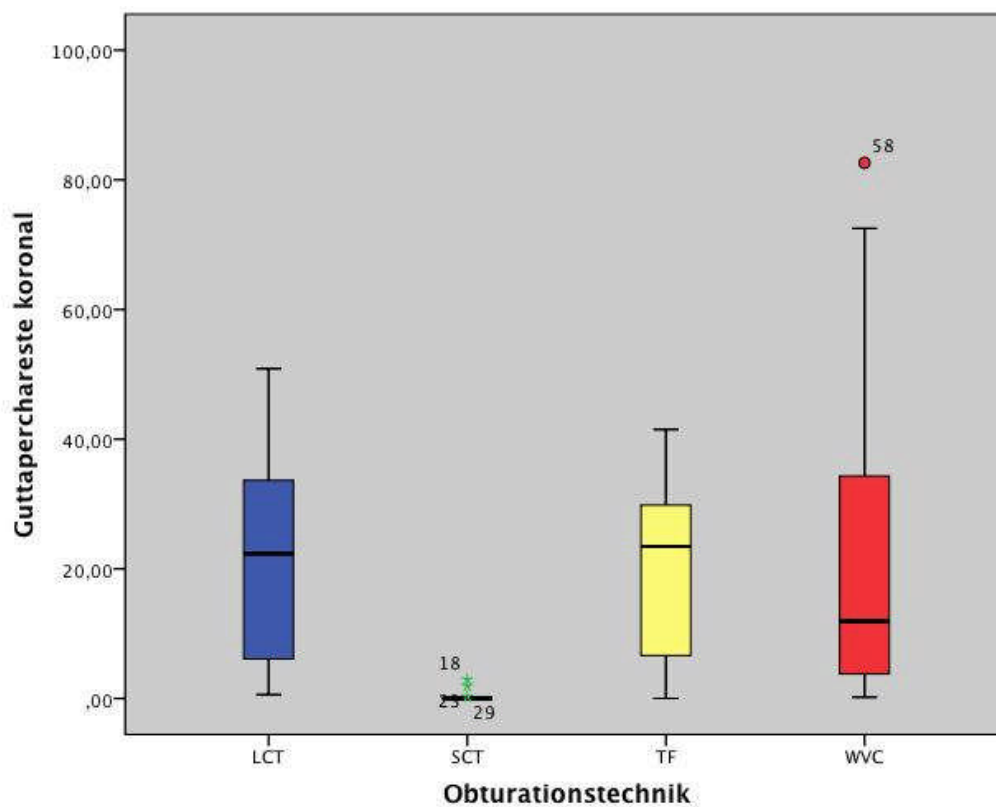


Abb. 28: Guttapercharesten im koronalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.3 Gesamtes Wurzelfüllmaterial

5.3.1 Apikales Drittel

Die Wurzelkanalfüllmaterialreste reichten von 43,89 % (TF-Gruppe) bis zu 57,91 % (WVC-Gruppe) (Abb. 29 und Tab. 3). Die Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test ergab keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,059$). Der Mann-Whitney-Test ergab jedoch signifikante Unterschiede zwischen der WVC- gegenüber SCT- und TF-Gruppe:

LCT vs. SCT: $p = 0,359^*$

LCT vs. TF: $p = 0,176$

LCT vs. WVC: $p = 0,129$

SCT vs. TF: $p = 0,756$

SCT vs. WVC: $p = 0,040^*$

TF vs. WVC: $p = 0,018^*$

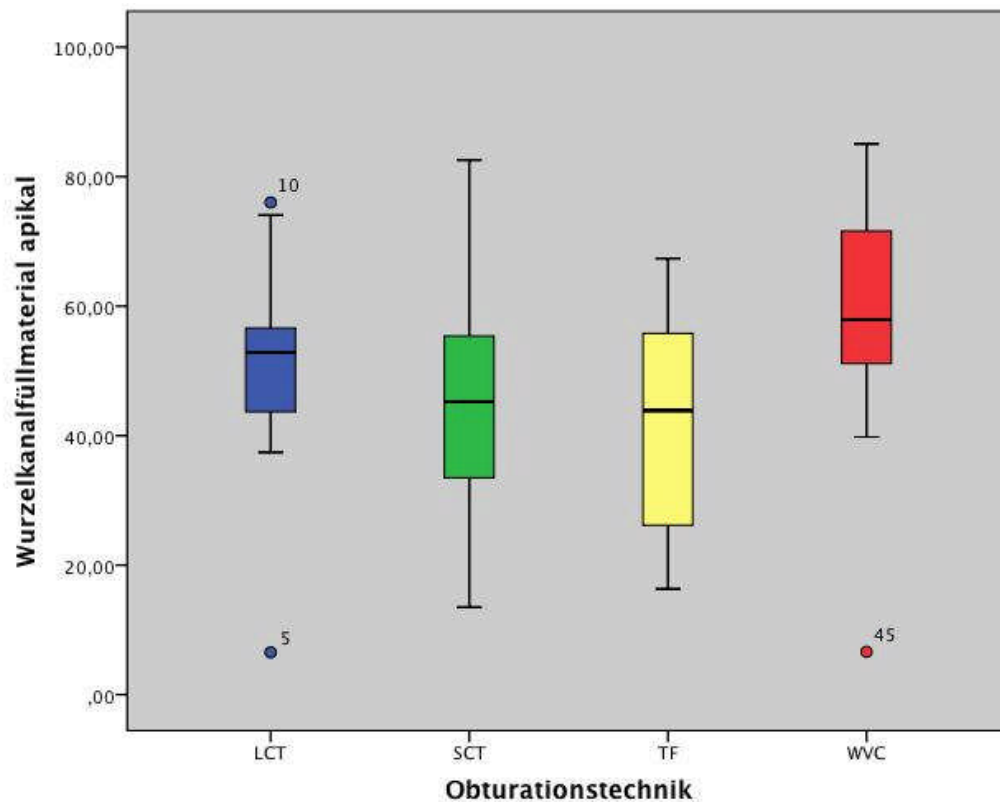


Abb. 29: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im apikalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.3.2 Mittleres Drittel

Im mittleren Drittel zeigten sich hinsichtlich der Reste verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterials keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,615$). Die Medianwerte lagen zwischen 38,75 % (TF-Gruppe) und 50,57 % (LCT-Gruppe). Auch die paarweise Analyse mittels Mann-Whitney-Test bestätigte dieses Ergebnis:

LCT vs. SCT: $p = 0,485$

LCT vs. TF: $p = 0,106$

LCT vs. WVC: $p = 0,408$

SCT vs. TF: $p = 0,983$

SCT vs. WVC: $p = 0,930$

TF vs. WVC: $p = 0,793$

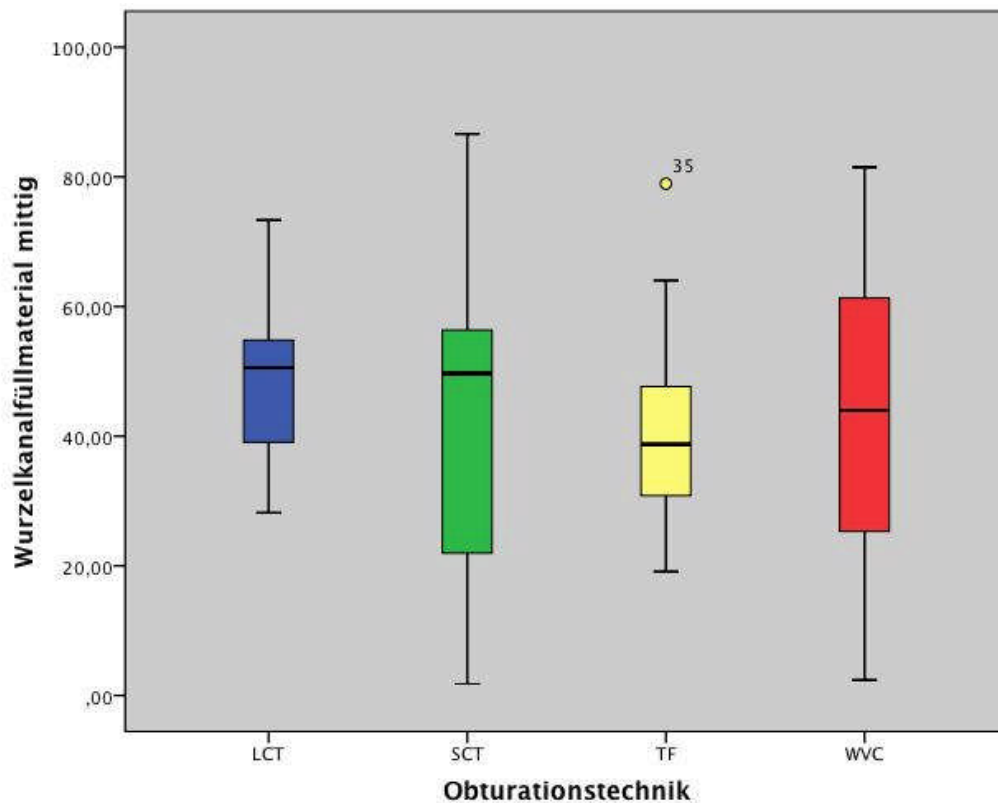


Abb. 30: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im mittleren Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.3.3 Koronales Drittel

Auch im koronalen Kanaldrittel wurden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen gefunden (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,380$). Die Medianwerte (Abb. 31) reichten von 28,49 % (WVC-Gruppe) zu 42,91 % (SCT-Gruppe) (Tab. 3). Die paarweise Vergleichsanalyse mittels Mann-Whitney-Test ergab folgende Signifikanzwerte:

LCT vs. SCT: $p = 0,513$

LCT vs. TF: $p = 0,256$

LCT vs. WVC: $p = 0,613$

SCT vs. TF: $p = 0,724$

SCT vs. WVC: $p = 0,337$

TF vs. WVC: $p = 0,055$

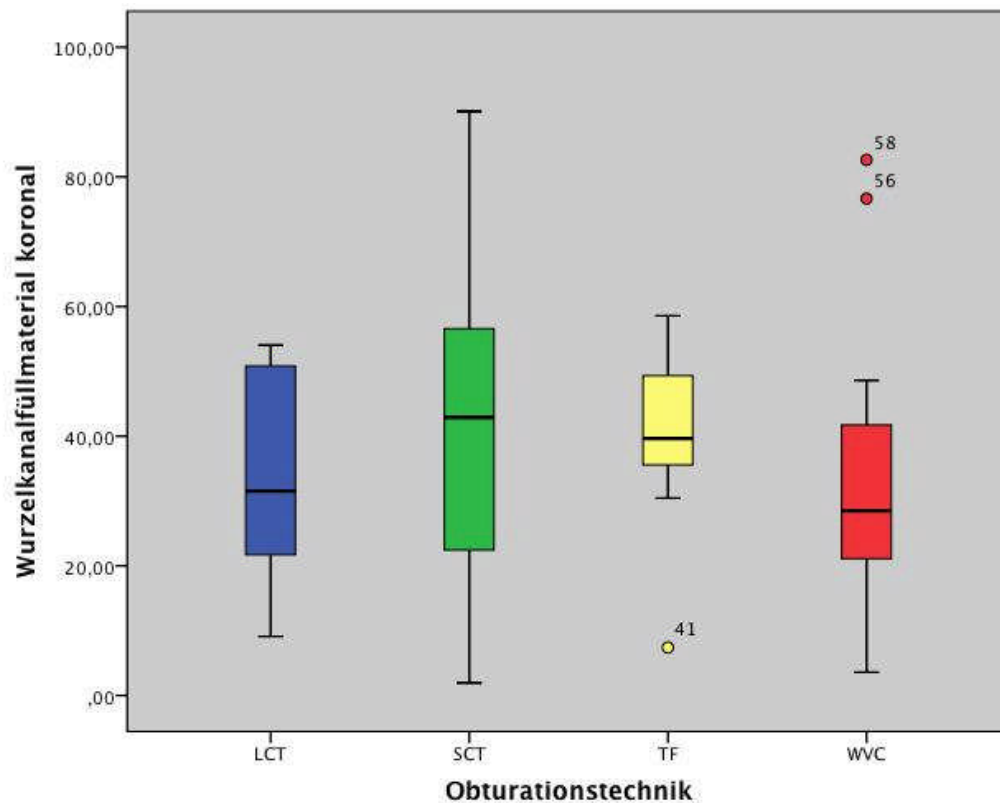


Abb. 31: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im koronalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen

5.4 Dauer der einzelnen Revisionsschritte

5.4.1 Erforderliche Zeit bis zum Erreichen der Arbeitslänge

Die bis zum Erreichen der Arbeitslänge erforderliche Zeit war zwischen den Gruppen signifikant verschieden (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,000^*$). Dabei war in der SCT-Gruppe die Arbeitslänge deutlich schneller zu erreichen (Abb. 32). Insgesamt waren die Werte zwischen allen vier Gruppen signifikant voneinander verschieden, wie nachfolgend anhand der Signifikanzwerte ersichtlich ist:

LCT vs. SCT: $p = 0,000^*$

LCT vs. TF: $p = 0,000^*$

LCT vs. WVC: $p = 0,024^*$

SCT vs. TF: $p = 0,000^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

TF vs. WVC: $p = 0,000^*$

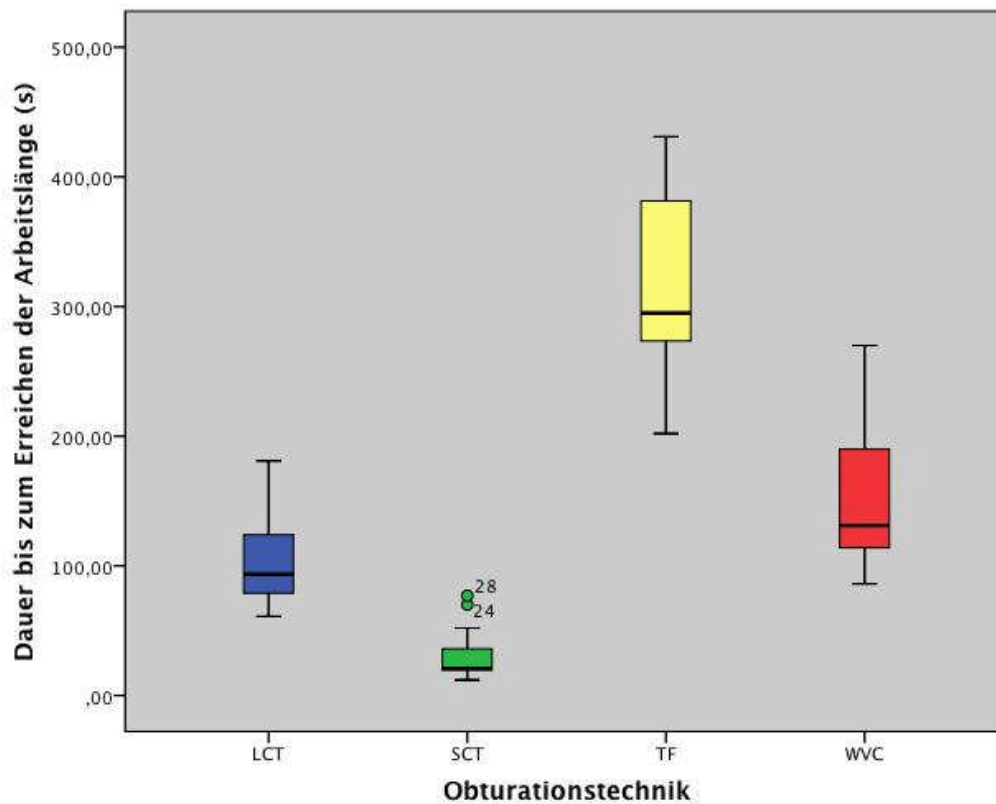


Abb. 32: Dauer zum Erreichen der Arbeitslänge in den experimentellen Gruppen

5.4.2 Erforderliche Zeit für die Revision der Guttapercha

Die Zeit, die benötigt wurde, um die Guttapercha visuell vollständig zu entfernen, war ebenfalls signifikant verschieden zwischen allen experimentellen Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p = 0,000$). Dabei erforderte die Revision von *Thermafil*-Obturatoren die längste Zeit (Abb. 33). Die Signifikanzwerte nach Analyse mittels Mann-Whitney-Test sind nachfolgend dargestellt:

LCT vs. SCT: $p = 0,014^*$

LCT vs. TF: $p = 0,000^*$

LCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

SCT vs. TF: $p = 0,000^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

TF vs. WVC: $p = 0,002^*$

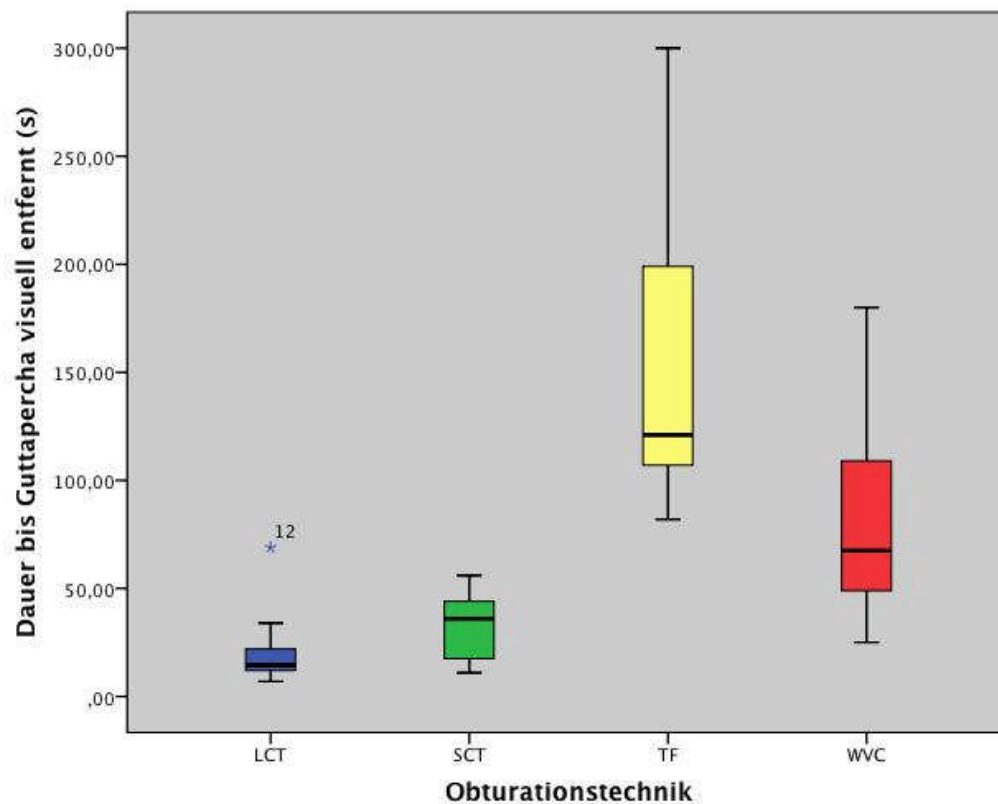


Abb. 33: Dauer bis zum vollständigen Entfernen der Guttapercha in den experimentellen Gruppen

5.4.3 Gesamtrevisionsdauer

Betrachtet man die Gesamtrevisionsdauer, so ist erkennbar, dass die Revision von Obturationen nach Warmfülltechniken deutlich zeitintensiver sind, als jene nach Obturation mittels Kaltfülltechniken (Abb. 34). Die statistische Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test bestätigt diese Beobachtung ($p = 0,000^*$). Während sich die Gesamtrevisionszeit zwischen der TF- und der WVC-Gruppe nicht signifikant voneinander unterscheiden, zeigte die Analyse mittels Mann-Whitney-Test signifikante Unterschiede bei allen übrigen paarweisen Vergleichen:

LCT vs. SCT: $p = 0,001^*$

LCT vs. TF: $p = 0,000^*$

LCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

SCT vs. TF: $p = 0,000^*$

SCT vs. WVC: $p = 0,000^*$

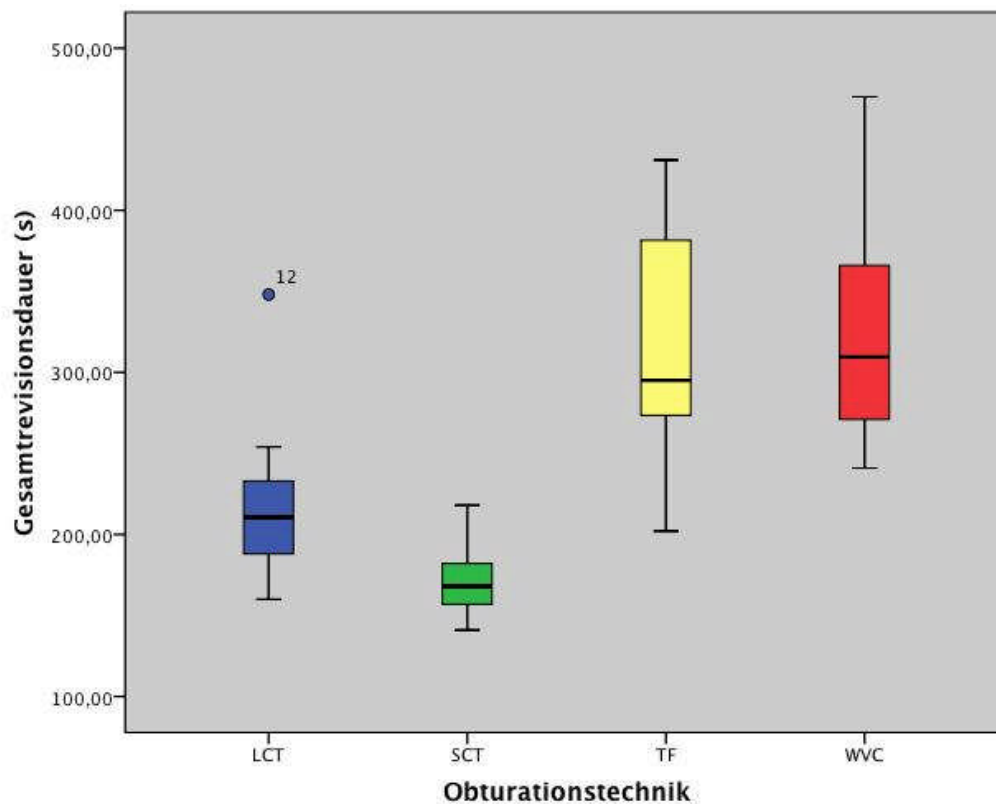


Abb. 34: Gesamtrevisionsdauer der verschiedenen experimentellen Gruppen

5.5 Revisionseffizienz: exemplarische lichtmikroskopische Bilder

Folgende Aufnahmen entstammen den Vorversuchen und wurden mit der Digitalmikroskopkamera DFC 420 der Firma *Leica* angefertigt. Jedes der einzelnen Aufnahmen ist ein exemplarisches Beispiel für die gesamte Gruppe (Abb. 35-38) und wurde aus Gründen der Übersicht nach der quantitativen Erfassung des residuellen Wurzelfüllmaterials aus dem PUR-Block freigestellt (*Photoshop Creative Suite 5*, Firma *Adobe*).



Abb. 35: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe LCT (Sealer- und Guttapercharesten auch im apikalen Bereich vorhanden)



Abb. 36: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe SCT (hauptsächlich Sealerreste an der Kanalwand sichtbar)

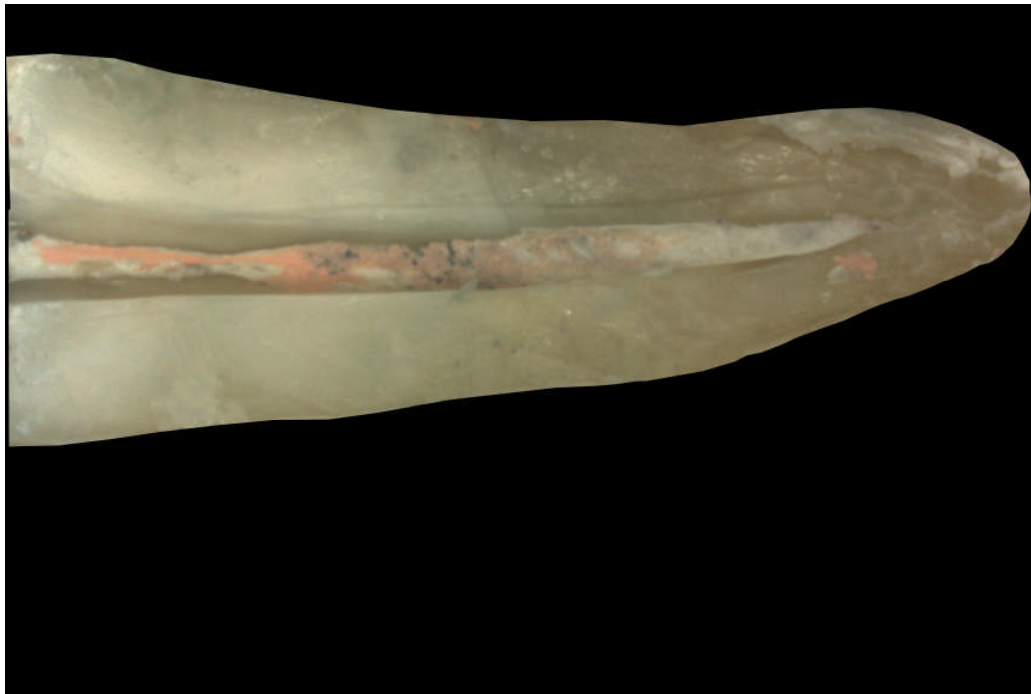


Abb. 37: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe TF (HeatCarrier, Guttapercha und Sealer zu erkennen)



Abb. 38: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe WVC
(großflächig mit Guttapercha bedeckte Kanalareale vorhanden)

6 Diskussion

Nach *Ruddle* 2004 ist die endodontische Revision auf nicht-chirurgischem Weg ein umfassendes Gebiet mit spezifischen Technologien, besten Materialien und einer Reihe verschiedenster Techniken, die erforderlich sind, um einen adäquaten klinischen Erfolg zu erzielen.

Diese In-vitro-Studie setzte sich daher zum Ziel, die Effizienz reziproker Systeme zu eruieren, wobei dies in Abhängigkeit von 4 verschiedenen Obturationstechniken (LCT, SCT, TF, WVC) erfolgte. Dabei fand nach vorangegangener Revision sowohl ein Vergleich der Reste der einzelnen Füllmaterialien separat als auch des gesamten verbliebenen Wurzelkanalfüllmaterials zwischen den Gruppen statt. Zudem wurden die Zeiten, welche für die Revision der Wurzelkanalfüllungen nach verschiedenen Obturationstechniken benötigt wurden, gemessen und zwischen den einzelnen Techniken verglichen.

6.1 Diskussion der Methodik

Die Schaffung einheitlicher Voraussetzungen war eine der Grundbedingungen, um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse der einzelnen Proben untereinander zu ermöglichen. Daher wurden für die Standardisierung als Probenmaterial zunächst ausschließlich runde Wurzeln ausgewählt, die zudem nur einen einzigen, geraden Wurzelkanal mit rundem Kanalquerschnitt aufwiesen. Dieser musste eine Gängigkeit bis zur apikalen Konstriktion aufweisen, was im Vorfeld mittels Handinstrumenten kontrolliert wurde. Auch Zähne mit besonders großem Kanallumen fanden im Rahmen dieser Studie keine Verwendung und wurden nach der Dekapitierung sofort aussortiert. Die Verteilung der 60 Probenzähne auf die vier experimentellen Gruppen erfolgte randomisiert, um nicht durch eine intentionelle Zuordnung gleicher Kanalgeometrien zu jeweils einer Obturationstechnik das Ergebnis zu beeinflussen. Die Gruppenstärke betrug jeweils $n = 15$, da diese Gruppenstärke aus statistischen Gründen eine große Gruppenstärke (Gruppengröße >12) darstellt und so mögliche Ausreißer das Gesamtergebnis weniger stark beeinflussen (*Aydin et al.* 2009).

Zudem war es wichtig, humane, zeitnah extrahierte Zähne zu verwenden, die nicht durch verschieden lange Lagerungszeiten möglicherweise Unterschiede hinsichtlich des Haftverbundes aufwiesen. Analogien aus Harz, Kunststoffen oder ähnlichen

Materialien kamen hier nicht in Frage, da sie vom realen Dentin zu sehr differieren und keine klinisch relevanten Ergebnisse erbracht hätten. Insbesondere Dentintubuli als anatomische Bausteine, die den Haftverbund von Sealer und Guttapercha zur Kanaloberfläche im natürlichen Zahn beeinflussen, sind in synthetischen Wurzelkanalmodellen nicht vorhanden. Insofern wären in solchen Modellen ermittelte Revisionseffizienzdaten nicht mit denen in natürlichen Zähnen zu vergleichen. Ein synthetisches Probenmaterial würde ergo nicht die Revisionsleistung der Instrumente am humanen Dentin widerspiegeln (*Schäfer et al.* 2006). Additionell war die Dekapitierung der Zähne wichtig, um eine exakt gleiche Arbeitslänge aller Proben zu gewährleisten. Dies wurde durch zusätzliches Trimmen perfektioniert. Das longitudinale Trennen der Wurzeln fand entsprechend vorangegangener Studien (*Baratto-Filho et al.* 2002, *Takahashi et al.* 2009) statt. Somit wurde eine perfekte Einsicht auf alle Anteile des Wurzelkanals gewährleistet und die lichtmikroskopischen Fotos dadurch erst ermöglicht. Das Muffelsystem aus PUR-Kunstharz, welches durch den Rotationsschutz und die feste Verschraubung eine exakte und sichere Reponierung beider Wurzelhälften gewährleistet, ermöglicht theoretisch auch wiederholte Analysen derselben Probe. Allerdings kam diese Möglichkeit nicht zur Anwendung, da zum einen eine *Reciproc*-Feile der Größe 45 nicht existent ist und die nächste verfügbare Größe (*R50*: .05/#50) einen zu großen Sprung und eine nicht kongruente Form gegenüber der initialen Aufbereitung (*R40* .06/#40) dargestellt hätte. Eine vorsichtige, weil schrittweise Erhöhung der Aufbereitungsgröße wäre so nicht möglich gewesen, weshalb auf diese Option hinsichtlich der nicht zu empfehlenden klinischen Sinnhaftigkeit verzichtet wurde. Da es sich um eine Pilotstudie handelte, welche die Durchführbarkeit der Revisionsbehandlung mittels der neuen *Reciproc*-Feile untersuchen sollte, wurde die Revision lediglich mit derselben Instrumentengröße wie in der Initialbehandlung durchgeführt (*R40*).

Verschiedene vorangegangene Studien zur Analyse der Revisionseffizienz fanden sowohl mit als auch ohne den Einsatz von Lösungsmitteln statt. Gerade zur Revision von *Thermafil*-Carriern hat sich der Einsatz von Lösungsmitteln wie Dimethylformamid und Chloroform bewährt, was *Bertrand et al.* bereits 1997 nachwiesen. Auch *de Oliveira et al.* (2006) verwendeten Chloroform in Kombination mit verschiedenen vollrotierenden Systemen im Rahmen ihrer Studie, was sich hinsichtlich der Effizienz auszeichnete. Die in dieser Studie angewandten verschiedenen Obturationstechniken führten jedoch systembedingt zu Unterschieden im Sealer-Guttapercha-Verhältnis. Die Intention der vorliegenden Studie war es daher, die verbliebenen Anteile an Wurzelkanalfüllmaterial getrennt voneinander auszuwerten

und prozentual zu erfassen, und somit obturationsbedingte Unterschiede erkennen zu können. Beim Einsatz von Lösungsmitteln wäre es zwar möglich gewesen, die gesamte mit Wurzelkanalfüllmaterialresten bedeckte Kanaloberfläche zu analysieren, aber das Vermischen der beiden Komponenten hätte eine getrennte Bewertung unmöglich gemacht. Zudem wurde das *Reciproc*-System bewusst dem *WaveOne*-System vorgezogen, da durch den S-Querschnitt ein größerer Spanraum und damit eine bessere Schneidleistung gegeben ist. Zudem versprach das Instrumentendesign einen besseren Abtransport von Wurzelkanalfüllmaterial (*Bürklein et al.* 2012).

Von der Firma *VDW* wurde die *Reciproc*-Feile bislang noch nicht explizit für die Revision von Wurzelkanalfüllungen vorgesehen. Zudem existiert bislang auch keine spezielle *Reciproc*-Revisionsfeile. Vergleichend wäre es möglich gewesen, weitere Gruppen mit einem vollrotierenden System (beispielsweise *Mtwo .06/#40*) zusätzlich zu integrieren. Allerdings bedeutete bereits die Untersuchung der 60 Probenzähne eine enorme Datenmenge, da im Gegensatz zu verschiedenen vorangegangenen Studien bewusst auf die automatische Detektion von Wurzelkanalfüllmaterialresten verzichtet wurde. Es konnte im Rahmen der Vorversuche anhand von Beispielbildern in diesen Studien erkannt werden, dass die automatische Detektion dieser Reste nicht ausreichend akkurat erfolgte und im Rahmen der vorliegenden Studie zur Erhöhung der Detektionsgenauigkeit und Vermeidung möglicher Fehlinterpretationen bewusst die manuelle Detektion von Sealer- und Guttapercharesten durchgeführt wurde. Insbesondere verschiedene Farbwerte auf der Wurzelkanaloberfläche (u. a. Verkalkungen) könnten sonst möglicherweise als verbliebenes Obturationsmaterial fehlinterpretiert werden. Zudem zeigten exemplarische Abbildungen verschiedener Studien, dass in Abhängigkeit der Homogenität des verbliebenen Obturationsmaterial die automatische Erkennung dieses nicht immer zuverlässig erkannte. Die im Rahmen der Studie eingesetzte manuelle Methode zur Markierung der Reste war im Gegensatz zu den anderen Studien mit einem erheblichen Aufwand verbunden, sodass die Hinzunahme weiterer experimenteller Gruppen einen erheblichen Mehraufwand bedeutet hätte und zudem nicht Ziel dieser Untersuchung war. Auch *Mtwo*-Revisionsfeilen wurden bewusst nicht in diese Studie integriert, da nur die ISO-Größen #15 und #25 existieren. Dadurch hätte sich keine Kongruenz zum aufbereiteten Kanal ergeben, was die klinische Sinnhaftigkeit relativiert.

Das Lichtmikroskop (Digitalmikroskopkamera *DFC 420*, Firma *Leica Microsystems*, Wetzlar) ist bezüglich der getrennten Bewertung von Sealer- und Guttapercharesten

sehr gut geeignet. Außerdem stellten *Schirrmeister et al. 2006*, *Carvalho et al. 2008* sowie *Kfir et al. 2012* im Rahmen ihrer Studien fest, dass die mikroskopische Evaluation von Proben weitaus genauer als die röntgenologische Beurteilung ist. Das Auflösungsvermögen von Röntgenfilmen bzw. Röntgendetektoren stellte sich dabei als nicht ausreichend für die Darstellung von residualem Wurzelkanal-füllmaterial heraus. Zudem zeichnet sich das Lichtmikroskop durch die einfache Handhabung und den konstanten Abstand zwischen Linse und Objekt aus. Dies ermöglicht eine zusätzliche Standardisierung und exakte Kalibrierung.

6.2 Diskussion der Ergebnisse

6.2.1 Prüfung der Arbeitshypothesen

Arbeitshypothese 1:

1. Reziproke Instrumente ermöglichen die Revision von Wurzelkanalfüllungen.

Das *Reciproc*-System ermöglichte im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie die Revision aller vier Obturationsmethoden. Nachdem frühere Studien (*Plotino et al. 2012*, *Gavini et al. 2012*, *Kim et al. 2012*) bereits eine ausreichende Arbeitssicherheit bei der Wurzelkanalaufbereitung belegen, weist die vorliegende Studie diese auch bei der Revision nach. So kam es zu keiner einzigen Instrumentenfraktur – weder bei den Kalt-, noch bei den kompakt beschaffenen Warmobturationen.

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Arbeitshypothese 2:

2. Alle Gruppen weisen vergleichbares residuales Wurzelkanalfüllmaterial auf.

Bei der statistischen Auswertung verdeutlichte sich, dass die Reste des gesamten Wurzelkanalfüllmaterials bei allen vier Gruppen keine statistisch signifikanten Differenzen aufwiesen. Es gab also keine Diskrepanzen zwischen Warm- und Kaltfülltechniken.

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Arbeitshypothese 3:

3. Alle Gruppen weisen vergleichbare Sealerreste auf.

Im Rahmen der durchgeführten Versuchsreihen konnte diese Hypothese nicht angenommen werden. So wies die SCT-Gruppe einen signifikant höheren Wert an residualem Sealer auf, was sich unter anderem durch die schnelle Entfernbarkeit des Masterpoints (und die damit verbundene kürzere Instrumentierungszeit) als auch durch die bei dieser Technik verwendete hohe Menge an Sealer begründen könnte.

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Arbeitshypothese 4:

4. Alle Gruppen weisen vergleichbare Guttaperchareste auf.

Analog zu Hypothese 3 traten bei der SCT-Gruppe die geringsten Guttaperchareste auf. Gerade bei den Warmfülltechniken TF und WVC ergab sich im Vergleich zur SCT-Gruppe ein signifikant höherer Wert. Als Grund dafür kann sicherlich die kompakte Beschaffenheit der Warmfülltechniken sowie der hohe Haftverbund von *AH Plus* zur Guttapercha angeführt werden, welcher durch den thermischen Aspekt der Erwärmung bedingt ist (Lawson *et al.* 2008).

Diese Hypothese wird **abgelehnt**.

Arbeitshypothese 5:

5. Die Revisionsdauer ist bei allen Obturationstechniken gleich.

Im Rahmen der Revision von Obturationen nach Warmfülltechnik (TF- sowie WVC-Gruppe) wurde signifikant mehr Zeit benötigt, was sich durch die hohe Kompaktion der Guttapercha bei der WVC-Gruppe sowie des starren Kunststoff-Heat-Carriers bei der TF-Gruppe erklären lässt.

Im Gegensatz zur SCT-Technik besteht bei Warmfülltechniken wenig Raum zwischen Guttapercha und Kanalwand, welcher mit Sealer bedeckt ist und somit einen leichten Eintritt in den Kanal geschaffen hätte.

6.2.2 Diskussion der Revisionseffizienz

Wie in früheren Studien zur Wurzelkanalsauberkeit kam es zu keiner vollständigen Entfernung aller Rückstände (*Hülsmann et al.* 1997, *Gergi et al.* 2007, *Marfisi et al.* 2010, *Pirani et al.* 2009) insbesondere im apikalen Drittel, jedoch zeigte sich im Bezug auf das gesamte Obturationsmaterial kein signifikanter Unterschied zwischen Warm- und Kaltfülltechniken. Insgesamt waren dennoch zwischen 28 % und 58 % der Wurzelkanaloberfläche nach Revision mit WF-Resten bedeckt, was im Folgenden diskutiert wird.

6.2.3 Sealerreste

Die Auswertungen zeigen, dass die SCT-Gruppe in allen drei Kanalabschnitten jeweils die meisten Sealerreste nach der Revision aufwies, wobei die Unterschiede zu den übrigen Gruppen signifikant waren. Die WVC-Gruppe wies apikal höhere Sealerreste als in den übrigen Kanalabschnitten auf, was sich mit dem dafür nötigen Down Pack sowie der apikalen Klemmpassung erklären lässt. Trotzdem lagen die Sealerreste bei der WVC-Gruppe immer noch weit unter denen der SCT-Gruppe.

Generell fällt auf, dass im koronalen Anteil eine deutlich höhere Wurzelkanalsauberkeit erreicht werden konnte, was sich durch den großen Taper der *Reciproc*-Feile .06/#40 erklären lässt. Interessant ist dabei, dass dies auftrat, obwohl die Revisionsgröße und vor allem die Konizität der Aufbereitungsgröße entsprach. Vermutlich ist der besser aufzubringende laterale Anpressdruck der Feile im koronalen, materialstärkeren Teil und die bessere Führung im sichtbaren Bereich dafür verantwortlich. So ist die zirkuläre Instrumentation der Kanalwände im apikalen Bereich reduziert und es können folglich mehr Guttaperchareste verbleiben.

Insgesamt lassen sich die hohen residualen Sealeranteile insbesondere bei der SCT-Technik damit erklären, dass sich die Guttapercha relativ leicht und schnell entfernen ließ, was sich zudem in der kurzen Revisionszeit, die zum Entfernen der Guttapercha notwendig war, niederschlug. Zu bedenken ist ferner, dass folglich eine kürzere effektive Instrumentierungszeit und damit eine reduzierte Bearbeitungsdauer der Kanalwände resultierte. Außerdem wird bei der SCT-Technik am meisten Sealer benötigt, da dieser die Inkongruenzen zwischen Masterpoint und Kanal-

wänden ausgleichen muss und im Gegensatz zu anderen Obturationstechniken nicht durch weitere Nebestifte oder thermisch verformte Guttapercha verdrängt wird.

Einen weiteren Einflussfaktor stellt der Haftverbund des Sealers zum Kanalwand-dentin respektive Guttapercha dar. Im Rahmen der Studie von *Fisher et al.* (2007) zeigte sich, dass der Sealertyp einen signifikanten Einfluss auf den Haftverbund zum Wurzelkanal-dentin hatte. Der Sealer *AH Plus*, welcher auch in vorliegender Studie verwendet wurde, zeigte im Push-out-Test in Kombination mit der SCT den signifikant höchsten Haftverbund (2,0 MPa) zum Wurzelkanal-dentin. Die anderen untersuchten Sealer *Pulp Canal Sealer* (Zinkoxid-Eugenol), *Epiphany*, (Methacrylat), *EndoREZ* (Urethandimethacrylat) und *ActicGP Sealer* (Glasionomerzement) zeigten signifikant geringere Haftwerte. *Haragushiku et al.* (2012) konnten für *AH Plus* mit 1,24 MPa in Kombination mit lateraler Kompaktion zwar geringere Haftwerte erzielen als *Assmann et al.* 2012 (3,03 MPa), allerdings wurde in ersterer Studie für die adhäsiven Wurzelkanalsealer noch weit niedrigere Haftwerte ermittelt. Im Rahmen eines Haftzugversuchs von *Saleh et al.* (2002) wurde der Einfluss von Vorbehandlungstechniken auf den Haftverbund von Sealern zur Wurzelkanalwand untersucht. Hier zeigte sich, dass entgegen der Erwartungen die Entfernung der Schmierschicht durch den Einsatz drei verschiedener Säuren einen negativen Effekt auf die Haftkraft hatte.

Letztendlich ist jedoch zu bemerken, dass der Haftverbund des Sealers zur Wurzelkanalwand erheblich von der Konizität und der Passform des jeweiligen Masterpoints abhängt. Es ist zu vermuten, dass Kanäle, die mit einem großen Taper instrumentiert wurden, leichter zu revidieren sind als solche, die einen vergleichsweise parallel aufbereiteten Kanal aufweisen. Insofern lässt sich schlussfolgern und vermuten, dass zur Wurzelkanalsauberkeit weniger der Haftverbund des Sealers zur Kanalwand, sondern eher die Kontaktfläche des Instruments zur Entfernung des Wurzelfüllmaterials beitragen. Die Adhäsivität gerät so in den Hintergrund.

Ein weiterer Grund für die hohen residualen Sealeranteile könnte sein, dass *AH Plus* im Gegensatz zu manchen anderen Wurzelkanalfüllpasten anstelle einer Schrumpfung eine leichte Expansion aufweist, wodurch die Wandständigkeit der Wurzelkanalfüllung ermöglicht wird. Diese Tatsache ist ein zusätzlicher Faktor dafür, dass sich das Material schwerer von der Wurzelkanaloberfläche entfernen lässt.

Des Weiteren tritt sowohl bei der LCT- als auch bei den Warmfülltechniken immer eine bessere Passung der Guttapercha zur Kanalwand auf. Folglich findet eine Verdrängung des Sealers nach koronalwärts und auch apikal hin statt, welcher nachfolgend beim Abtrennen und Versäubern der Wurzelkanalfüllung entfernt wird.

Die vorliegende Studie zeigte zwischen Kalt- und Warmfülltechniken keinen generellen Zusammenhang, da die Sealerreste in der LCT-Gruppe nicht in allen Kanalabschnitten über den Gruppen der Warmfülltechniken (TF und WVC) lagen.

6.2.4 Guttaperchareste

Hier zeigt sich ein konträres Bild: die SCT-Gruppe weist hier in allen drei Kanaldritteln die signifikant geringsten Guttaperchareste auf, wobei diese vom apikalen bis zum koronalen Drittel zusätzlich abnehmen. Dies lässt sich dadurch begründen, dass sich der Masterpoint der SCT-Gruppe relativ schnell und vor allem in toto entfernen ließ, was sich auch in den ermittelten Revisionszeiten widerspiegelt. Es findet zudem bei der SCT-Technik kein relevanter Anpressdruck der Guttapercha an die Kanalwand statt, da die Residualräume zwischen Guttaperchastift und Kanalwand mit Sealer ausgefüllt wurden und durch den Verzicht von Kompaktionstechniken und dem Einbringen von weiterem plastischen oder soliden Füllmaterial kein weiterer Druck erzeugt wurde. Daher ließen sich für diese Gruppe auch die höchsten Werte für Sealerreste ermitteln.

Die LCT-, TF- und WVC-Gruppen befanden sich hier auf etwa gleichem Niveau – was auch wieder interessant ist, da es auch hier keine generelle Diskrepanz der Werte zwischen den Warm- und Kaltfülltechniken gab. LCT befand sich nicht zusammenhängend teilweise über, teilweise auch unter den Werten der TF- und WVC-Gruppe. Es scheint hier also eher auf den Anpressdruck der Guttapercha an die Kanalwände bzw. die kompakte Beschaffenheit dieser Obturationstechniken anzukommen, was beim Fingerspreading bei der LCT-Gruppe auch gegeben ist. Davon abgesehen ist jedoch auch der Haftverbund von *AH Plus* zur Guttapercha bei der WVC signifikant höher als bei der Einstifttechnik, was die hohen Guttaperchareste zusätzlich erklärt. So weist *AH Plus* neben der hohen Haftkraft zum Kanalwanddentin auch noch einen starken Verbund zur Guttapercha auf, was durch den thermischen Aspekt der Erwärmung bedingt ist. Dadurch konnte bei der Revision keine adäquate Separation der beiden Wurzelfüllmaterialien untereinander erfolgen, wie es bei der SCT-Gruppe der Fall war. So imponierten bei der WVC die Guttaperchareste. Dieser Sachverhalt wurde im Rahmen einer Studie von *Lawson*

et al. 2008 ausreichend belegt, als diese mittels eines Push-out-Tests u. a. den Haftverbund von *AH Plus* zu Guttapercha untersuchten und diesen mit *MetaSeal* verglichen. Es verdeutlichte sich, dass die Ausstoßkraft von *AH Plus* signifikant höher als die von *MetaSeal* war. Zusätzlich nahmen die Guttapercharesten der LCT-, TF- und WVC-Gruppe von apikal nach koronal kontinuierlich ab. Die Feile arbeitet also koronal auch hier effizienter als im apikalen Bereich, wie bereits bei den Sealerresten beschrieben wurde.

6.2.5 Gesamtmenge an verbliebenem Obturationsmaterial

Nachdem Sealer- und Guttapercharückstände innerhalb der einzelnen Gruppen sehr stark differierten, gab es bei der Wurzelkanalfüllung insgesamt keine signifikanten Unterschiede der Gruppen untereinander. Somit zeigten alle Gruppen hinsichtlich der verbliebenen Reste an Obturationsmaterial eine in etwa vergleichbare Revisionseffizienz. Im Vergleich zur Studie von *Ersev et al.* (2012), welche für die Revision einer vergleichbaren Gruppe (*AH Plus*/SCT) allerdings ein vollrotierendes System (*ProTaper*-Retreatment-Files D1-D3) verwendeten, lag das residuale Wurzelkanalfüllmaterial in der vorliegenden Studie apikal auf einem leicht höheren, im mittleren und koronalen Kanalabschnitt auf einem deutlich höheren Niveau. Nachdem auch in dieser Studie keine adjuvanten Techniken zur Wurzelkanalsäuberung verwendet wurden, lässt sich daraus schließen, dass die Revisionseffizienz vollrotierender Systeme aufgrund des gleichmäßigen, unidirektionalen Bewegungsmusters höher ist. Zudem erscheint es wahrscheinlich, dass die Vollrotation einen effektiveren Koronalttransport von Guttapercha und Sealer im Sinne einer archimedischen Förderschnecke bewirkt. Dieser Sachverhalt wurde auch in weiteren Studien belegt. So wiesen *Ünal et al.* 2009 nach, dass nach der Revision von Wurzelkanalfüllungen nach der Warmfülltechnik im apikalen Drittel am meisten residuales Wurzelkanalfüllmaterial vorliegt. Im Rahmen dieser Studie wurden Proben mit gekrümmten Wurzelkanälen verwendet, was die Revision im apikalen Drittel noch zusätzlich erschwerte. Außerdem zeichnen sich Warmfülltechniken, wie bereits erwähnt, durch einen hohen Revisionsaufwand aus, was unter anderem im Zusammenhang mit der starken Passung zum Kanalwanddentin steht. Auch *So et al.* (2012) belegten diese Hypothese, wobei sich zusätzlich eine Unabhängigkeit von den verwendeten Sealerarten (G1, *EndoFill*, G2, *AH Plus*, G3, *Sealapex*) zeigte. Dies lässt vermuten, dass im Bezug auf die Revisionseffizienz der Haftverbund zum Kanalwanddentin einen deutlich niedrigeren Einfluss als die mechanische Instrumentation hat, zumal die unterschiedlichen Sealer ja auch unterschiedliche Haftwerte besitzen. Ein wich-

tigerer Aspekt ist, wie bereits oben erwähnt, die Kongruenz des Masterpoints zum Wurzelkanal, weil dadurch der Anpressdruck des Sealers an die Kanalwand sowie auch der (zeitliche) Anspruch der Revision beeinflusst wird. Ein weiterer wichtiger Punkt ist natürlich auch die effektive Instrumentierung und Instrumentierungszeit des jeweiligen Instruments.

Die Unterschiede der einzelnen, wenn auch statistisch nicht signifikant unterschiedlichen Werte für die Revisionseffizienz könnten beispielsweise durch die apikale Klemmpassung und den Down-Pack bei der WVC-Gruppe erklärt werden, was ein Indiz für die hohen Werte von residualem Wurzelkanalfüllmaterial im apikalen Bereich darstellt. Im mittleren Kanaldrittel bedeckte das Obturationsmaterial in der LCT-Gruppe einen hohen Anteil der Wurzelkanaloberfläche. Ursache hierfür könnte der Einsatz des Fingerspreaders gewesen sein, der bis in diesen Kanalabschnitt eingeführt wurde. In einer Studie von *Zmener et al.* (2006) wurde dieser Sachverhalt festgestellt. Durch die hohe Kompression an die Kanalwände findet hier auch eine Kompaktion der Wurzelfüllung in die Seitenkanäle der Pulpa statt, was deshalb eine Revision in diesem Bereich etwas erschwert.

Insgesamt waren wiederum – in Übereinstimmung mit anderen Studien (*Masiero et al.* 2005, *Roggendorf et al.* 2010) – im apikalen Drittel die höchsten Werte für verbliebenes Füllmaterial zu finden.

6.2.6 Revisionszeit

Hier zeigte sich, dass im Allgemeinen für die Revision von Obturationen nach Warmfülltechnik (TF- sowie WVC-Gruppe) signifikant mehr Zeit benötigt wurde. Dies lässt sich u.a. dadurch erklären, dass bereits die Zeit zum Erreichen der Arbeitslänge bei den Warmfülltechniken höher war als bei der LCT- und SCT-Gruppe. Grund dafür ist sicherlich die hohe Kompaktion der Guttapercha sowie der Kunststoff-Carrier bei der *Thermafil*-Technik, welcher ein deutliches Erschwernis für die Revision darstellte. Frühere Studien von *Wilcox et al.* (1994) sowie *Baratto Filho et al.* (2002) belegen dieses Ergebnis. Außerdem wurde bereits nachgewiesen, dass durch die Erwärmung der Guttapercha ein erheblich höherer Haftverbund an der Wurzelkanalwand erzielt werden konnte.

Die Entfernung der Guttapercha erforderte bei den Warmfülltechniken einen ebenfalls größeren Zeitaufwand als bei den Kaltfülltechniken, was wiederum mit der besseren Haftung der erhitzten Guttapercha an den Kanalwänden sowie dem schwierig zu revidierenden *Thermafil*-Carrier im Zusammenhang stehen dürfte.

Es wird auch deutlich, dass bei der LCT-Gruppe die Zeit zum Erreichen der Arbeitslänge etwas höher als die der SCT-Gruppe lag. Dies war auch vorhersehbar, nachdem durch die LCT eine gewisse Klemmpassung der Guttapercha an die Wurzelkanalwände vorlag. Bei der Einstifttechnik fand die Revisionsfeile meist sehr leicht einen Eingang in die Wurzelkanalfüllung und konnte sich somit schneller den Weg bis zur apikalen Konstriktion bahnen.

7 Schlussfolgerung und klinische Relevanz der Studie

Im Rahmen dieser Studie sollte die Kompatibilität und Revisionseffizienz reziproker Systeme hinsichtlich vier verschiedener Obturationstechniken bezüglich der Durchführbarkeit und Eignung dieser Technik untersucht werden. Die vier angewandten Obturationstechniken LCT, SCT, TF sowie WVC sind dabei auch die klinisch gängigsten Methoden, welche sich durch eine unkomplizierte, reproduzierbare Durchführung auszeichnen. Es verdeutlichte sich, dass zwar in Bezug auf die einzelnen Bestandteile der Wurzelfüllung (Sealer und Guttapercha) massive Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen existierten (bei Kaltfülltechniken verblieben hauptsächlich Sealer-, bei Warmfülltechniken hauptsächlich Guttapercharesten im Kanal), in Hinblick auf die Wurzelfüllung insgesamt aber keine signifikanten Unterschiede herrschten. Das *Reciproc*-System benötigte zwar bei der Revision von Warmfülltechniken einen erheblich größeren Zeitaufwand aufgrund der kompakten Beschaffenheit dieser Wurzelkanalfüllungen, allerdings zeigte sich hinsichtlich der verbliebenen Gesamtreste an Obturationsmaterial kein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Gruppen. So waren die Reste der Wurzelfüllmaterialien insgesamt bei Warm- und Kaltfülltechniken auf gleichem, aber dennoch relativ hohem Niveau (zwischen 29 % und 58 %).

Klinisch relevant ist an dieser Tatsache, dass eine alleinige Revision nur durch die mechanische Instrumentierung mit *Reciproc*-Feilen derselben Größe wie der initialen Aufbereitungsgröße im klinischen Alltag keine ausreichende Erfolgsquote erzielen wird. Dies begründet sich auch durch die Tatsache, dass verbliebenes Wurzelkanalfüllmaterial aus Dentintubuli, Kanalausbuchtungen sowie Seitenkanälen auf diese Art und Weise nicht zu entfernen ist. Nach aktuellen Leitlinien (DGZMK, Revision einer Wurzelkanalbehandlung, 2004) kann die Revision somit nicht als Erfolg gewertet werden. Zudem eruierten *Viera et al.* ja 2012, wie bereits erwähnt, dass Misserfolge bei der Revision auch oftmals im Zusammenhang mit persistierenden Mikroorganismen in Lateralkanälen sowie Dentintubuli stehen.

Diese Studie stellt einen wesentlichen Teil vor der Durchführung einer retrospektiven *In-vivo*-Studie dar, in deren Rahmen die klinische Relevanz der Wurzelkanalsauberkeit sowie auch die Möglichkeiten des Auftretens postoperativer Beschwerden durch die reziproke Bewegung der Feile untersucht werden sollten. Bei der Instrumentierung von Wurzelkanälen konnte nämlich gezeigt werden, dass die Präva-

lenz postoperativer Schmerzen bei vollrotierender Aufbereitung geringer war (*Gambarini et al.* 2012).

Um die Effizienz zu erhöhen, wäre jedoch zusätzlich die Anwendung eines Lösungsmittels, die Anwendung spezieller Ultraschallsysteme, der *Self Adjusting File* (Firma *Redent Nova*) sowie Reinigungsbürstchen (*Roeko Canal Brush*, Firma *Coltène*) und/oder die Erhöhung der Aufbereitungsgröße bei der Revision nötig, um residuales Wurzelkanalfüllmaterial auch aus schwer zu instrumentierbaren Bereichen des Wurzelkanals zu entfernen.

Insgesamt ist es jedoch von höchster klinischer Relevanz, dass im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie nachgewiesen wurde, dass eine Revision mit *Reciproc*-Feilen durchaus möglich ist. Dabei kann die Arbeitssicherheit als sehr hoch bezeichnet werden, da keine einzige Instrumentenfraktur auftrat. Diese Tatsache erleichtert den klinischen Arbeitsalltag enorm, da mit einem einzigen Instrument die Wurzelkanalaufbereitung und die Revision erfolgen kann. Neben dem geringeren logistischen Aufwand bietet sich dadurch auch eine erhebliche Zeitersparnis.

Schlussfolgern lässt sich also, dass reziproke Systeme sowohl in warm als auch kalt gefüllten Wurzelkanälen die gleiche Revisionseffizienz aufwiesen, wobei allerdings für die Entfernung von Wurzelkanalfüllungen nach Warmfülltechniken wesentlich mehr Zeit für die Revision benötigt wird.

8 Ausblick

In zahlreichen Studien wurde bereits nachgewiesen, dass rotierende Systeme eine höhere Revisionseffizienz als Handinstrumente besitzen. So wiesen beispielsweise *Gu et al.* dies 2008 für das *ProTaper*-Revisionssystem im Vergleich zu H-Feilen, *Mollo et al.* 2012 für *Mtwo*-Revisionsfeilen und *R-Endo* im Gegensatz zu K-Feilen und *Gates-Glidden*-Bohrern nach. Der Vorteil der reziproken Systeme besteht im Gegensatz zum *ProTaper*-System sowie anderen rotierenden Systemen in einer erheblichen Zeitersparnis, da aufgrund der reziproken Feilenbewegung auch zur Revision nur eine einzige Feile angewandt werden muss.

Nachdem diese Studie in erster Linie eine Machbarkeitsstudie darstellt, wäre es interessant, in weiteren Studien die Revisionseffizienz noch vergleichend anderen Systemen (wie beispielsweise *WaveOne*, *Dentsply Maillefer*) gegenüber zu stellen. Auch die Anwendung verschiedener Sealer und die Eruierung deren Entfernbarekeit mittels *Reciproc*-Feilen ist denkbar. Nachdem im Rahmen dieser Studie ausschließlich runde Kanalquerschnitte vorlagen, wäre es informativ, in weiteren Studien ovale Kanäle oder extreme Krümmungsradien hinzuzuziehen. Prospektiv gilt es außerdem, wie bereits oben erwähnt, ein zusätzliches Augenmerk auf sich in Dentintubuli befindlichen Debris und residuales Wurzelfüllmaterial zu richten, welche möglicherweise auch Ausgangspunkt für persistierende Beschwerden sein können. So wiesen *Xu et al.* 2012 in einer rasterelektronenmikroskopischen Studie nach, dass Füllungsmaterial je nach Obturationsmethode mehr als 1 mm in Dentintubuli eindringen kann. *Viera et al.* führten 2012 sogar persistente bzw. rezidivierende periapikale Infektionen auf das Verbleiben von Mikroorganismen innerhalb der Dentintubuli zurück.

Daher sind weitere Studien nötig, die additionelle Techniken und Maßnahmen berücksichtigen, um eine zusätzliche Kanalsauberkeit zu erreichen. Der Einsatz der *SAF* (Self Adjusting File, Firma *Redent Nova*) nach Revision mittels rotierender Revisionsfeilen konnte bereits eine signifikante Reduktion der Wurzelkanalfüllungsreste belegen (*Abramowitz et al.* 2012). Zudem wäre auch der Einsatz von Schall- oder Ultraschallinstrumenten (z. B. *EndoActivator*, *DentsplyTulsa*, *Tulsa*, *OK*), *CanalBrush* sowie Lösungsmitteln denkbar, um eine weitere Erhöhung der Reinigungseffizienz zu erzielen.

9 Abstract

9.1 Aim

For the retreatment of root canal fillings engine-driven *NiTi* systems are used and special retreatment instruments are available. Reciprocating systems enable the root canal treatment with a single instrument, which raises the question if root canal retreatments can also be done with these instruments. Therefore, the purpose of this study was to investigate the efficacy of reciprocating instruments for retreatment of root canal fillings after four different obturation techniques.

9.2 Method

60 human single-rooted, single-canal teeth with straight and round root canals were decoronated and instrumented with R40 reciprocating files (*VDW*). Before the actual obturation the roots were surrounded by splitted *Biresin* blocks.

The specimens were randomly assigned to four groups according to the used obturation technique and obturated with *AH Plus* and following techniques: (1) single cone technique (SCT), (2) lateral compaction (LCT), (3) *Thermafil* (TF), (4) warm vertical compaction (WVC). After storage (30d, 37 °C, 100 % humidity) the roots were additional retreated with *Reciproc* files R40. Afterwards the Biresin blocks were separated again and the apical, middle and coronal root portion were microphotographed with a light microscope (*Leica*).

The residual root filling material was evaluated separately from sealer and gutta-percha residues and calculated in percentage (*Leica QWin* Software). Additionally, the retreatment time was measured. The statistical analysis was performed with *SPSS Win 19.0*.

9.3 Results

The analysis of the data illustrated that there are significant differences in every one of the three root canal sections between the single groups. This is reflected both in the sealer residual and in the gutta-percha value (Kruskal-Wallis test, $p \leq 0,05$). Warm obturation techniques showed a higher amount of residual gutta-percha, whereas cold obturation techniques leave us with more residual sealer material. The differences between the groups 1/3, 1/4 as well as 3/4 were not significant (Mann-

Whitney test, $p \geq 0,05$). Calculating the whole root canal filling material there was a significant difference between the groups 3 and 4 in the apical third (Mann-Whitney test $p \leq 0,05$), but not in the other root canal sections. However, the retreatment time prove significant differences among the groups. Warm obturation techniques showed a significant higher retreatment time than cold obturation techniques (Mann-Whitney test $p \leq 0,05$).

9.4 Conclusions

Reciprocating instruments allow a safe retreatment of root canal fillings. Additional measures like a higher treatment size or the application of a solvent may be necessary to increase the retreatment efficacy.

10 Zusammenfassung

10.1 Hintergrund und Ziele

Zur Revision von Wurzelkanalfüllungen werden maschinelle *NiTi*-Systeme eingesetzt und spezielle Revisionsfeilen sind verfügbar. Reziproke Antriebssysteme ermöglichen die Aufbereitung des Wurzelkanals mit nur einem Instrument. Auch Revisionen wären mit diesen Instrumenten denkbar. Daher sollte im Rahmen dieser Studie die Effizienz von *Reciproc*-Instrumenten zur Revision von Wurzelkanalfüllungen nach 4 verschiedenen Obturationstechniken untersucht werden.

10.2 Material und Methode

60 einwurzelige, humane Zähne mit geradem Kanalverlauf und rundem Kanalquerschnitt wurden nach Dekapitierung mit R40 *Reciproc*-Instrumenten (*VDW*) instrumentiert. Vor der Obturation wurden die Wurzeln in teilbare Blöcke aus Polyurethanharz eingebettet. Die Zähne wurden randomisiert auf 4 Gruppen entsprechend der eingesetzten Obturationstechnik verteilt und mit *AH Plus* und folgenden Techniken obturiert: (1) Einstifttechnik, (2) laterale Kompaktion, (3) *Thermafil*, (4) warme vertikale Kompaktion. Nach Lagerung der obturierten Zähne (30d, 37 °C, 100 % Luftfeuchtigkeit) wurden die Wurzelkanalfüllungen mittels *Reciproc* R40 revidiert. Nach der Revision wurden die Blöcke geöffnet und der apikale, mittlere und koronale Wurzelabschnitt (je 3 mm Kanalabschnitt) unter einem Lichtmikroskop (*Leica*) digital fotografiert. Die mit Obturationsmaterial bedeckten Wurzelkanaloberflächen wurden getrennt nach Sealer- und Guttapercha-Resten auf den Aufnahmen markiert (*Leica QWin* Software) und flächenmäßig kalkuliert. Der prozentuale Anteil der bedeckten Kanaloberfläche wurde statistisch ausgewertet. Zusätzlich wurde die erforderliche Revisionszeit ermittelt. Die statistische Auswertung erfolgte mittels *SSPS Win 19.0*.

10.3 Ergebnisse

Die statistische Auswertung zeigte signifikante Unterschiede in allen 3 Wurzelkanalabschnitten zwischen den Gruppen sowohl hinsichtlich der Reste von Sealer als auch von Guttapercha (Kruskal-Wallis-Test, $p \leq 0,05$), wobei die Warmfülltechniken einen höheren Anteil an verbliebener Guttapercha aufwiesen, die Kaltfülltechniken

hingegen eine größere Menge an verbliebenem Wurzelkanalsealer. Die Unterschiede zwischen den Vergleichsgruppen 1/3, 1/4 sowie 3/4 waren nicht signifikant (Mann-Whitney-Test, $p \geq 0,05$). Die Kalkulation der Gesamtfläche an Wurzelkanalfüllmaterial hingegen ergab zwar im apikalen Drittel einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen 3 und 4 (Mann-Whitney-Test $p \leq 0,05$), ansonsten jedoch keine Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen. Die statistische Analyse zeigte hinsichtlich der Revisionsdauer signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen. So wiesen die beiden Warmfülltechniken eine signifikant höhere Gesamtrevisionsdauer gegenüber den Kaltfülltechniken auf (Mann-Whitney-Test $p \leq 0,05$).

10.4 Praktische Schlussfolgerung

Die reziproken Instrumente ermöglichen eine sichere Revision von Wurzelkanalfüllungen. Zusätzliche Maßnahmen wie die Vergrößerung der Aufbereitungsgröße oder der Einsatz eines Lösungsmittels sind jedoch zur Erhöhung der Revisionseffizienz erforderlich.

11 Literaturverzeichnis

1. Abramowitz I, Relles-Bonar S, Baransi B, Kfir A: The effectiveness of a self-adjusting file to remove residual gutta-percha after retreatment with rotary files. *Int Endod J* 45, 386-392 (2012)
2. AKGZ: Die Zahnmedizin zum Zeitpunkt der Gründung des Central-Vereins deutscher Zahnärzte – ein historischer Rückblick. Deutscher Ärzte-Verlag, Dtsch Zahnärztl Z 66, 57-58 (2011)
3. Assmann E, Kochenborger Scarparo R, Böttcher DE, Grecca FS: Dentin bond strength of two mineral trioxide aggregate-based and one epoxy resin-based sealers. *J Endod* 38, 219-221 (2012)
4. Aydin B, Köse T, Caliskan MK: Effectiveness of Hero 642 versus Hedstrom files for removal gutta-percha fillings in curved root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 42, 1050-1056 (2009)
5. Baratto-Filho F, Ferreira EL, Fariniuk LF: Efficacy of the 0.04 taper ProFile during the retreatment of gutta-percha filled root canals. *Int Endod J* 35, 651-654 (2002)
6. Barbarossa SV, Burkhard DH, Sponberg LSW: Cytotoxic effects of gutta-percha solvents. *J Endod* 20, 6-8 (1994)
7. Baumann MA, Roth A: Effect of experience on quality of canal preparation with rotary nickel-titanium files. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 88, 714-718 (1999)
8. Baumann MA, Beer R: Farbatlant der Zahnmedizin: Endodontologie, Thieme Verlag, Stuttgart 2008
9. Baumann MA, Beer R, Kielbassa AM: Taschenatlas der Endodontie, Thieme Verlag, Stuttgart 2003
10. Beasley RT, Williamson AE, Justman BC, Quian F: Time required to remove guttacore, thermafil plus, and thermoplasticized gutta-percha from moderately curved root canals with protaper files. *J Endod* 39, 125-128 (2013)

11. Bergenholtz G, Lekholm U, Milthorpe R, Engström B: Influence of apical over-instrumentation and overfilling on retreated root canals. *J Endod* 5, 310-314 (1979)
12. Bergenholtz G, Lekholm U, Milthorpe R, Heden G, Ödesjö B, Engström B: Re-treatment of endodontic fillings. *Scand J Dent Res* 87, 217-224 (1979)
13. Bertrand MF, Pellegrino JC, Rocca JP, Klinghofer A, Bolla M: Removal of Thermafil root canal filling material. *Journal of Endodontics* 23, 54-57 (1997)
14. Brantley WA, Iijima M, Grentzer TH: Temperature-modulated DSC provides new insight about nickel-titanium wire transformations. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 124, 387-394 (2002)
15. Bürklein S, Hinschitza K, Dammachke T, Schäfer E: Shaping Ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 45: 449-461 (2012)
16. Carbajal Mejia JB et al.: Antimicrobial effects of calcium hydroxide, chlorhexidine, and propolis on *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *J Invest Clin Dent*, Apr 4. doi: 10. 1111/jcd. 12041 (2013)
17. Carvalho AS, Camargo CH, Valera MC, Camargo SE, Mancini MN: Smear layer removal by auxiliary chemical substances in biomechanical preparation: a scanning electron microscope study. *J Endod* 34, 1396-1400 (2008)
18. Das Reciproc-System http://www.vdw-reciproc.de/images/stories/pdf/reciproc-anwender_a5_rev3.pdf (Mai 2013)
19. Denton GB, Zachariou C: The history of vitalism in pulp treatment. *Dental Cosmos* 73, 267-273 (1931)
20. DFG DEUTSCHE FORSCHUNGSGEMEINSCHAFT: Maximale Arbeitsplatzkonzentrationen und Biologische Arbeitsstofftoleranzwerte 1990. Mitteilung XXVI der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Weinheim: VCH Verlag, Weinheim 1990
21. DGZ und DGZMK: Wurzelkanalspülung. Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 15 (2000)
22. DGZMK: Stellungnahme zum Thema „Revision einer Wurzelkanalbehandlung“, *Dtsch Zahnärztl Z* 59, 5 (2004)

23. Diemer J: Microdentistry Training-Center Aalen, Endo Excellence Endo Revision Skript, Aalen 2012
24. Ersev H, Yilmaz B, Dincol ME, Daglaroglu R: The efficacy of ProTaper Universal rotary retreatment instrumentation to remove single gutta-percha cones cemented with several endodontic sealers. *Int Endod J* 45, 756-762 (2012)
25. Fauchard P: *Le chirurgien dentiste*. Französische Erstauflage 1728, Deutsche Auflage Berlin 1733
26. Figdor D, Sundqvist G: A big role for the very small – understanding the endodontic microbial flora. *Aust Dent J.* 52, 38-51 (2007)
27. Fisher MA, Berzins DW, Bahcall JK: An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. *J Endod* 33, 856-858 (2007)
28. Fonzar F, Fonzar A, Buttolo P, Worthington HV, Esposito M: The prognosis of root canal therapy: a 10-year retrospective cohort study on 411 patients with 1175 endodontically treated teeth. *Eur J Oral Implantol* 2, 201-208 (2009)
29. Frajlich SR, Goldberg F, Massone EJ, Cantarini C, Artaza LP: Comparative study of retreatment of Thermafil and lateral condensation endodontic fillings, *Int Endod J* 31, 354-357 (1998)
30. Friedman S: Considerations and concept of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *EndodTopics* 1, 54-78 (2002)
31. Friedman S: Treatment outcome and prognosis of endodontic therapy. In: Ørstavik D, PittFord TR (Hrsg.): *Essential Endodontology*. Blackwell Science, Oxford 1998, 367-401
32. Friedman S, Rotstein I, Shar-Lev S: Bypassing gutta-percha root fillings with an automated device. *J Endod* 15, 432-437 (1989)
33. Gambarini G, Sudani DAL, Di Carlo S, Pompa G, Pacifici A, Pacifici L, Testarelli L: Incidence and intensivity of postoperative pain and periapical inflammation after endodontic treatment with two different instrumentation techniques. *Europ J Inflam* 10, 99-103 (2012)
34. Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M: *Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie*, Thieme Verlag, Stuttgart 2005

35. Garip Y, Günday M: The use of computed tomography when comparing nickel-titanium and stainless steel files during preparation of simulated curved canals. *Int Endod J* 34, 452-457 (2001)
36. Gavini G, Caldeira CL, Akisue E, Candeiro GT, Kawakami DA: Resistance to flexural fatigue of Reciproc R25 files under continuous rotation and reciprocating movement. *J Endod* 38, 684-687 (2012)
37. Gergi R, Sabbagh C: Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J* 40, 532-537 (2007)
38. Grahnen H, Hansson L: The prognosis of pulp and root canal therapy: A clinical and radiological follow-up examination. *Odontol Revy* 12, 146-165 (1961)
39. Gu LS, Ling JQ, Wei X, Huang XY: Efficacy of Pro Taper Universal rotary retreatment system for gutta-percha removal from root canals. *Int Endod J* 41, 288-295 (2008)
40. Haragushiku GA, Teixeira CS, Furuse AY, Sousa YTS, de Sousa Neto MD, Silva RG: Analysis of the interface and bond strength of resin-based endodontic cements to root dentin. *Microsc Res Tech* 75, 655-661 (2012)
41. Hernandez R, Bader S, Boston D, Trope M: Resistance to fracture of endodontically treated premolars restored with new generation dentine bonding systems. *Int Endod J*, 281-284 (1994)
42. Hess D, Colomon E, Spears R, He J: Retreatability of a Bioceramic Root Canal Sealing Material. *J Endod* 37, 1547-1549 (2011)
43. Huang X, Ling J, Wei X, Gu L: Quantitative evaluation of debris extruded apically by using ProTaper Universal Tulsa rotary system in endodontic retreatment. *J Endod* 33, 1102-1105 (2007)
44. Hülsmann M: Retreatment decision making by a group of general dental practitioners in Germany. *Int Endod J* 27, 125-132 (1994)
45. Hülsmann M: Checklisten der Zahnmedizin, Endodontie. Thieme Verlag, Stuttgart 2008
46. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfers F: Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod* 23, 301-306 (1997)

47. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH: Mechanical preparation of the root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 10, 30-76 (2005)
48. Ingle JI: The need for endodontic instrument standardization. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 8, 1211-1213 (1955)
49. Ingle JI: The need for uniformity of endodontic instruments, equipment and filling materials. *Int Dent J* 9, 389 (1959)
50. Kfir A, Tsesis I, Yakirevich E, Matalon S, Abramovitz I: The efficacy of five techniques for removing root filling material: microscopic versus radiographic evaluation. *Int Endod J* 45, 35-41 (2012)
51. Kim HC, Kwak SW, Cheung GS, Ko DH, Chung SM, Lee W.: Cyclic fatigue and torsional resistance of two new nickel-titanium instruments used in reciprocation motion: Reciproc versus WaveOne. *J Endod* 38, 541-544 (2012)
52. Koçkapan C: Curriculum Endodontie. Quintessenz Verlag, Berlin 2003
53. Krell KV, Neo J: The use of ultrasonic endodontic instrumentation in the retreatment of a paste-filled endodontic tooth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 60, 100-102 (1985)
54. Kvist T: Endodontic retreatment. Aspects of decision making and clinical outcome. *Swed Dent J* 144, 1-57 (2001)
55. Lawson MS, Loushine B, Mai S, Weller RN, Pashley DH, Tay FR, Loushine RJ : Resistance of a 4-META-containing, methacrylate-based sealer to dislocation in root canals. *J Endod* 34, 833-837 (2008)
56. Lee JH, Park JB, Andreasen GF, Lakes RS: Thermomechanical study of NiTi alloys. *J Biomed Mater Res* 22, 573-588 (1988)
57. Loizides A, Eliopoulos D, Kontakiotis E: Root canal transportation with a NiTi rotary file system and stainless steel hand files in simulated root canals. *Quintessence Int* 37, 369-374 (2006)
58. Lovdahl PE, Gutmann JL: Problems in nonsurgical root canal retreatment. IN: Gutmann JL, Dumsha TC, Lovdahl PE, Hovland EJ (Hrsg.): Problem solving in Endodontics. Mosby, St. Louis 1997, 157-201
59. Marfisi K, Mercade M, Plotino G, Duran-Sindreu F, Bueno R, Roig M: Efficacy of three different rotary files to remove gutta-percha and Resilon from root canals. *Int Endod J* 43, 1022-1028 (2010)

60. Silva B, Baratto-Filho F, Leonardi DP, Henrique Borges A, Volpato L, Branco Barletta F: Effectiveness of ProTaper, D-RaCe, and Mtwo retreatment files with and without supplementary instruments in the removal of root canal filling material. *Int Endod J* 45, 927-932 (2012)
61. Masiero AV, Barletta FB: Effectiveness of different techniques for removing gutta-percha during retreatment. *Int Endod J* 38, 2-7 (2005)
62. Mollo A, Botti G, Principi Goldoni N, Randellini E, Paragliola R, Chazine M, Ounsi HF, Grandini S: Efficacy of two Ni Ti systems and hand files for removing gutta-percha from root canals. *Int Endod J* 45, 1365-2591 (2012)
63. Ng YL, Mann V, Gulabivala K: Outcome of secondary root canal treatment: a systematic review of the literature. *Int Endod J* 41, 1026-1046 (2008)
64. Ng YL, Mann V, Rahbaran S, Lewsey J, Gulabivala K: Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature – Part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J* 40, 921-939 (2007)
65. de Oliveira DP, Barbizam JV, Trope M, Teixeira FB: Comparison between gutta-percha and resilon removal using two different techniques in endodontic retreatment, *Journal of Endodontics* 32, 362-364 (2006)
66. Pirani C, Pelliccioni GA, Marchionni S, Montebugnoli L, Piana G, Prati C: Effectiveness of three different retreatment techniques in canals filled with compacted gutta-percha or Thermafil: a scanning electron microscope study. *J Endod* 35, 1433-1440 (2009)
67. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G: Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 45, 614-618 (2012)
68. Reddy S, Neelakantan P, Saghiri MA, Lotfi M, Subbarao CV, Garcia-Godoy F, Gutmann JL: Removal of gutta-percha/zinc-oxide-eugenol sealer or gutta-percha/epoxy resin sealer from severely curved canals: an in vitro study. *Int J Dent* 551831 (2011)
69. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Frankenberger R, Friedman S: Micro-CT evaluation of residual material in canals filled with Acitv GP or Gutta Flow following removal with NiTi instruments. *Int Endod J* 43, 200-209 (2010)
70. Ruddle CJ: Nonsurgical retreatment. *J Endod* 30, 827-845 (2004)

71. Saad AY, Al-Hadlaq SM, Al-Katheeri NH: Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of gutta-percha during root canal retreatment. *J Endod* 33, 38-41 (2007)
72. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D: The effects of dentine pre-treatment on the adhesion of root canal sealers. *Int Endod J* 35, 859-866 (2002)
73. Saunders WP, Saunders EM: Influence of smear layer on the coronal leakage of Thermafil and laterally condensed gutta-percha root fillings with a glass ionomer sealer. *J Endod* 20, 155-158 (1994)
74. Schäfer E, Erler M, Dammaschke T: Comparative study on the shaping ability and cleaning efficiency of rotary Mtwo instruments. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 39, 196-202 (2006)
75. Schaller KH, Drexler H: N, N-Dimethylformamid (BAT Value Documentation in German language, 1994) published online 31. JAN 2012
76. Schirrmeister JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E: Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs: An ex vivo study. *Int Endod J* 39, 558-565 (2006)
77. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E: Efficacy of different rotary instruments for gutta-percha removal in root canal retreatment. *J Endod* 32, 469-472 (2006)
78. Schwerin C, Gerlach KL: Iatrogene Zwischenfälle bei der Wurzelkanalspülung mit Natriumhypochlorit, Falldarstellung. *Quintessenz* 10, 1044 (2007)
79. Siotia J, Acharya SR, Gupta SK: Efficacy of ProTaper retreatment system in root canals obturated with gutta-percha using two different sealers and GuttaFlow. *Int J Dent* 676128 (2011)
80. Siqueira jr. J: Aetiology of root canal failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J* 34, 1-10 (2001).
81. Sjögren U, Hägglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 16, 498-504 (1990)
82. So MV, De Figueiredo JA, Freitas Fachin EV, Hungaro Duarte MA, Pereira JR, Kuga MC, Da Rosa RA: Clinical microscopic analysis of ProTaper re-

- treatment system efficacy considering root canal thirds using three endodontic sealers. *Microsc Res Tech* 75, 1233-1236 (2012)
83. Somma F, Cammarota G, Plotino G, Grande NM, Pameijer CH: The effectiveness of manual and mechanical instrumentation for the retreatment of three different root canal filling materials. *J Endod* 34, 466-469 (2008)
 84. Sunay H, Tanalp J, Dikbas I, Bayirli G: Cross-sectional evaluation of the periapical status and quality of root canal treatment in a selected population of urban Turkish adults. *J Endod* 40, 139-145 (2007)
 85. Sundqvist G, Figdor D: Endodontic treatment of apical periodontitis. In: Orstavik D, PittFord TR (Hrsg.): *Essential Endodontology*. Blackwell Science, Oxford 1998, 242-277
 86. Swanson K, Madison L: An evaluation of coronal microleakage in endodontically treated teeth. Part I. Time Periods. *J Endod* 13, 56-59 (1987)
 87. Takahashi CM, Cunha RS, de Martin AS, Fontana CE, Silveira CF, Da Silveira Bueno CE: In vitro evaluation of the effectiveness of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. *J Endod* 35, 1580-1583 (2009)
 88. Tamse A, Unger U, Metzger Z, Rosenberg M: Gutta-percha solvents – a comparative study. *J Endod* 12, 337-339 (1986)
 89. Teixeira CS, Felipe MC, Felipe WT: The effect of application time of EDTA and NaOCl on intracanal smear layer removal: an SEM analysis. *Int Endod J* 38, 285-290 (2005)
 90. Thompson SA: An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Endod J* 33, 297-310 (2000)
 91. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD: In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod* 16, 566-569 (1990)
 92. Tronstad L, Barnett F, Riso K, Slots J: Extraradicular endodontic infections. *Endod Dent Traumatol* 3, 86-90 (1987)
 93. Trope M: Flare-up rates of single-visit endodontics. *Int Endod J* 24, 24-27 (1991)
 94. Ünal GC, Kaya BU, Tac AG, Kececi AD: A comparison of the efficacy of conventional and new retreatment instruments to remove gutta-percha in curved root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 42, 344-350 (2009)

95. van Nieuwenhuysen JP, Aouar M, D'Hoore W: Retreatment or radiographic monitoring in endodontics. *Int Endod J* 27, 75-81 (1994)
96. Viera AR, Siqueira JF Jr, Ricucci D, Lopes WS: Dentinal tubule infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: a case report. *J Endod* 38, 250-254 (2012)
97. Vosen V: Lichtmikroskopische Analyse des Wurzeldentins nach Kanalinstrumentierung mittels vier verschiedener maschineller Nickel-Titan-Feilensysteme. Med. Diss., Marburg 2013
98. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H: An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 14, 346-351 (1988)
99. Wang QQ, Zhang CF, Chu CH, Zhu XF: Prevalence of *Enterococcus faecalis* in saliva and filled root canals of teeth associated with apical periodontitis. *Int J Oral Sci* 4, 19-23 (2012)
100. Weiger R, Löst C, Hülsmann M: Die Revision von Wurzelkanalbehandlungen. Indikationsstellung. *Endodontie* 3, 27-37 (1994)
101. Wennberg A, Ørstavik D: Evaluation of alternatives to chloroform in endodontic practice. *Endod Dent Traumatol* 5, 234-237 (1989)
102. Wilcox LR, Juhlin JJ: Endodontic retreatment of Thermafil vs. lateral condensed gutta-percha. *J Endod* 20, 115-117 (1994)
103. Xu LL, Zhang L, Zhou XD, Wang R, Deng YH, Huang DM: residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. *J Endod* 38, 293-296 (2012)
104. Yilmaz Z, Karapinar SP, Ozcelik B: Efficacy of rotary NiTi retreatment systems in root canals filled with a new warm vertical compaction technique: *Dent Mater J* 30, 948-953 (2011)
105. Zanettini PR, Barletta FB, de Mello Rahde N: In vitro Comparison of different reciprocating systems used during endodontic retreatment. *Aust Endod J* 34, 80-85 (2008)
106. Zmener O, Pameijer CH, Banegas G: Retreatment efficacy of hand versus automated instrumentation in oval-shaped root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 521-526 (2006)

12 Anhang

12.1 Abkürzungen

Abkürzung	Begriffserklärung
Abb.	Abbildung
BAT	Biologischer Arbeitsplatz-Toleranzwert
Chloramin T	N-Chloro Tosylamid
CHX	Chlorhexidin
Cr-Ni-Edelstahl	Chrom-Nickel-Edelstahl
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
E. faecalis	Enterococcus faecalis
ESE	European Society of Endodontology
et al.	et alius
etc.	et cetera
H-Feilen	Hedström-Feilen
HOCl	hypochlorige Säure
ISO	International Organization for Standardization
K-Feilen	Kerr-Feilen
K-Flex-Feilen	Kerr-Flex-Feilen
K-Räumer	Kerr-Räumer
LCT	lateral-compaction-technique
mm	Millimeter
MPa	Mega Pascal
n	Anzahl
NaOCl	Natriumhypochlorit
NiTi	Nickel-Titan-Legierung
NitiNOL	Nickel Titanium Naval Ordnance Laboratory
p	Signifikanz

Abkürzung	Begriffserklärung
PUR	Polyurethanharz
RaCe	Reamer with alternating cutting edges
s	Sekunde
SAF	Self Adjusting File
SCT	Single-Cone-Technique
SD	Standard Deviation
spp.	Spezies
Tab.	Tabelle
TF	<i>Thermafil</i> -Technique
u.a.	unter anderem
vs.	versus
WF	Wurzelkanalfüllung
WK-Bohrer	Wurzelkanal-Bohrer
WVC	Warm-Vertical-Compaction-Technique
z.B.	zum Beispiel
%	Prozent
#	Größe

12.2 Materialien

Material	Firma
Diamantierte Trennscheiben ISO806104 LOT 577010	<i>Hager & Meisinger GmbH</i> , Neuss,
<i>VDW.Silver Reciproc</i>	<i>VDW GmbH</i> , München
Epoxidharz <i>Biresin G27</i> Polyurethangießharz Harz (A) LOT 0012578852 Härter (B) LOT 0012406089	<i>Sika N.V.</i> , Utrecht, Niederlande

Material	Firma
Spezial-Isolierflüssigkeit <i>Vita Zeta HC</i> (Heat Curing Composite) <i>Special Insulating Liquid</i> 30 ml LOT 25040	<i>Vita Zahnfabrik</i> , Bad Säckingen
Gewindeschrauben mit Kontermuttern, Größe M4	<i>Dresselhaus</i> , Herford
Stoppuhr	<i>Hanhart</i> , Gütenbach
<i>Reciproc</i> Feilen #40.06 LOT 1102000994	<i>VDW GmbH</i> , München
<i>Reciproc</i> Papierspitzen, 29 mm, #40.04 LOT 10688	<i>VDW GmbH</i> , München
<i>Reciproc</i> Guttapercha, 28 mm #40.06 LOT 414876C	<i>VDW GmbH</i> , München
Spülkanüle 0,3x 23 mm LOT 060808	<i>Transcoject, Gesellschaft für medizinische Geräte GmbH Co. KG</i> , Neumünster
Diamantinstrument 837 F	<i>Hager & Meisinger</i> , Neuss
Digitalmikroskopkamera DFC 420	<i>Leica Microsystems</i> , Wetzlar
Natriumhypochlorit-Lösung 3 %	<i>August Hedinger</i> , Stuttgart
Rotes Winkelstück	<i>Kaltenbach & Voigt Dental GmbH</i> , Biberach
Glasplatte	Uniklinikum Marburg
Zementanrührspatel	<i>Aesculap</i> , Tuttlingen
<i>Obtura</i> Guttapercha LOT 446PO810	<i>Obtura Spartan</i> , Earth City, MO, USA
<i>Obtura</i> Applikationskanülen Durchmesser 23 LOT 24507	<i>Obtura Corporation</i> , Fenton, MO, USA
<i>C-Pilot</i> -Feilen Größe 06, 08 und 10	<i>VDW GmbH</i> , München

Material	Firma
Spreader ISO 25 LOT 0910001174	VDW GmbH, München
<i>Tetric Flow</i>	<i>Ivoclar Vivadent</i> , Schaan, Lichtenstein
Composite	3M ESPE, Seefeld
Polymerisationslampe Poly Lux II	<i>Kaltenbach & Voigt Dental GmbH</i> , Biberach
<i>AH Plus</i> Wurzelkanalfüllmaterial LOT 0912000738	<i>Dentsply DeTrey GmbH</i> , Konstanz
<i>Thermafil</i> #35 LOT 012604031	<i>Dentsply DeTrey GmbH</i> , Konstanz
<i>Therma Prep Plus Oven</i>	<i>Dentsply DeTrey GmbH</i> , Konstanz
<i>Obtura II Gun</i>	<i>Obtura Corporation</i> , Fenton, MO, USA
<i>Heatcarrier System B</i> Modell 1005	<i>Analytic Technology</i> , Orange, CA, USA
EDTA-Spüllösung (17 %)	Universitätsklinikum Gießen und Marburg
<i>Leica Application Suite (LAS)</i>	<i>Leica Microsystems GmbH</i> , Wetzlar
Bildauswertungssoftware <i>Image Tool</i> 3.0	<i>Dr. S. Brent Dove</i> , UTHSCSA, San Antonio, TX, USA
Statistisches Auswertungsprogramm <i>SSPS Win 19.0</i>	<i>IBM</i> , Armonk, NY, USA
Chloramin-T-Lösung 0,5 %	<i>Merck</i> , Darmstadt
Trimmer HSS-88	<i>Wassermann Dentalmaschinen</i> , Hamburg
<i>Vivapad</i> 533648	<i>Ivoclar Vivadent</i> , Schaan, Lichtenstein
Messlehre 41260 <i>GarantR</i>	<i>Hoffmann GmbH</i> , München
Pinzette	<i>Aesculap</i> , Tuttlingen
Skalpell	<i>Aesculap</i> , Tuttlingen

Material	Firma
Flüssiger Stickstoff	<i>Linde Gase GmbH, Pullach</i>
Frontzahnscaler Nr. 972/H6-H7 LOT: 6M-12	<i>Carl Martin, Solingen</i>
Plugger	<i>Aesculap, Tuttlingen</i>
Castogel Dubliermasse	<i>Bego, Bremen</i>
Kreuzverzahnte Fräse	<i>Dental Liga, Köln</i>
Ausblockwachs <i>Surgident Periphery Wachs</i>	<i>Sigma Dental Systems Emasdi GmbH, Handewitt</i>
Röntgenstopper	<i>Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz</i>
<i>Microsoft Excel</i>	<i>Microsoft Corp., Redmond, WA, USA</i>
Thermoschrank	<i>Memmert B80, Schwabach</i>
<i>Leica QWin</i>	<i>Leica Microsystems GmbH, Wetzlar</i>
Guttaperchaspitzen 2 %, ISO 20, 25 und 40	<i>VDW GmbH, München</i>
wasserfester Stift	<i>Edding International GmbH, Ahrensburg</i>
<i>Photoshop Creative Suite 5</i>	<i>Adobe Systems GmbH, München</i>
rosa Plattenwachs	<i>Dental Liga, Köln</i>
Wachsmesser	<i>Dental Liga, Köln</i>
Heidemannspatel	<i>Aesculap, Tuttlingen</i>

12.3 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

12.3.1 Verzeichnis der Abbildungen

Abb. 1:	Ablaufplan der experimentellen Studie (Flowchart).....	29
Abb. 2:	Beispiel für eine <i>Reciproc</i> -Feile <i>R40</i> (Größe .06/#40).....	30
Abb. 3:	Der <i>VDW.Silver Reciproc</i> -Motor	31
Abb. 4:	Anlegen der Trennscheibe vor der longitudinalen Separation des Zahns	32
Abb. 5:	Die Silikonformen der Firma <i>Bego</i> zum Erstellen der PUR-Blöcke	33
Abb. 6:	Das <i>Biresin G27</i> Polyurethanharz zur Herstellung der Blöcke	33
Abb. 7:	Das <i>Special Insulating Liquid</i> der Firma <i>Vita</i> zur Isolation der einzelnen Blockhälften.....	34
Abb. 8:	Reponierter Probenzahn nach Einbettung in eine teilbare PUR-Harzform.....	35
Abb. 9:	Die <i>Reciproc</i> -Papierspitzen <i>R40</i>	36
Abb. 10:	Der Zweikomponentensealer <i>AH Plus</i> , Basis- und Katalysatorpaste	37
Abb. 11:	Beispiel für eine Probe der Gruppe <i>LCT</i> nach erfolgter Obturation.....	37
Abb. 12:	Beispiel für eine mit <i>LCT</i> obturierter Probenzahn im PUR-Block	38
Abb. 13:	Normiertes <i>Reciproc</i> -Guttaperchastifteset in den 3 angebotenen Größen.....	39
Abb. 14:	Beispiel für eine Probe der Gruppe <i>SCT</i> nach erfolgter Obturation.....	39
Abb. 15:	Beispiel für die mit der <i>SCT</i> -Technik gefüllte Probe im PUR-Block.....	40
Abb. 16:	Beispiel für eine Probe der Gruppe <i>TF</i> nach erfolgter Obturation	41
Abb. 17:	Beispiel für eine mit <i>TF</i> gefüllte Probe im PUR-Block	41
Abb. 18:	Beispiel für eine Probe der Gruppe <i>WVC</i> nach erfolgter Obturation	42
Abb. 19:	Beispiel für eine mit der <i>WVC</i> -Technik gefüllte Probe im PUR-Block.....	43
Abb. 20:	Eine in einen PUR-Block eingebettete Probe nach Revision und Teilung	45
Abb. 21:	Das Kompositbild mit angelegtem Messlineal zeigt die Einteilung der Wurzelhälften vor der Erfassung des residualen Wurzelfüllmaterials.....	45
Abb. 22:	Screenshot während der Analyse des residualen Wurzelkanalfüll- materials mittels des Programms <i>Leica QWin</i>	46
Abb. 23:	Sealerreste im apikalen Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	49
Abb. 24:	Sealerreste im mittleren Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	50

Abb. 25: Sealerreste im koronalen Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	51
Abb. 26: Guttapercharestes im apikalen Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	52
Abb. 27: Guttapercharestes im mittleren Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	53
Abb. 28: Guttapercharestes im koronalen Kanalanteil der vier verschiedenen experimentellen Gruppen	54
Abb. 29: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im apikalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen	55
Abb. 30: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im mittleren Kanalanteil der experimentellen Gruppen	56
Abb. 31: Reste verbliebenen Obturationsmaterials im koronalen Kanalanteil der experimentellen Gruppen	57
Abb. 32: Dauer zum Erreichen der Arbeitslänge in den experimentellen Gruppen	58
Abb. 33: Dauer bis zur vollständigen Entfernung der Guttapercha in den experimentellen Gruppen	59
Abb. 34: Gesamtrevisionsdauer der verschiedenen experimentellen Gruppen	60
Abb. 35: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe LCT (Sealer- und Guttapercharestes auch im apikalen Bereich vorhanden)	61
Abb. 36: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe SCT (hauptsächlich Sealerreste an der Kanalwand sichtbar)	62
Abb. 37: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe TF (Heat-Carrier, Guttapercha und Sealer zu erkennen)	62
Abb. 38: Beispiel für eine Wurzelhälfte nach erfolgter Revision der Gruppe WVC (großflächig mit Guttapercha bedeckte Kanalareale vorhanden) ...	63

13.3.2 Verzeichnis der Tabellen

Tab. 1: Sealerreste (in %).....	98
Tab. 2: Guttapercharestes (in %)	99
Tab. 3: Gesamtes residuales Wurzelfüllmaterial (in %)	100

Tab. 1: Sealerreste (in %)

Sealerreste								
Obturations- technik	Kanal- abschnitt	Mittelwert (%)	SD (%)	Minimum (%)	Maximum (%)	25 % Quartil	50 % Quartil	75 % Quartil
LCT	apikal	16,65	10,72	0,00	33,96	8,32	14,79	27,21
	mittig	18,94	14,45	0,17	42,41	3,98	21,65	29,74
	koronal	11,33	7,36	3,17	22,91	4,32	9,25	17,87
<i>Wilcoxon-Test Sealerreste LCT: apikal vs. mittig: p=0,51; apikal vs. koronal: p=0,158; mittig vs. koronal: 0,03*</i>								
SCT	apikal	32,91	12,79	12,01	55,19	21,24	37,36	39,12
	mittig	40,43	24,84	1,79	86,60	15,57	35,96	56,51
	koronal	39,77	25,19	1,95	90,09	13,44	42,91	62,49
<i>Wilcoxon-Test Sealerreste SCT: apikal vs. mittig: p=0,46; apikal vs. koronal: p=0,427; mittig vs. koronal: 0,865</i>								
TF	apikal	17,84	16,32	0,00	61,44	7,81	14,04	21,82
	mittig	12,40	14,52	0,00	53,01	3,44	7,26	14,82
	koronal	20,80	16,60	0,85	52,47	8,88	14,29	34,59
<i>Wilcoxon-Test Sealerreste TF: apikal vs. mittig: p=0,245; apikal vs. koronal: p=0,427; mittig vs. koronal: 0,02*</i>								
WVC	apikal	24,62	19,32	0,61	63,26	7,24	23,84	40,14
	mittig	11,65	10,24	0,00	32,85	2,42	9,01	17,97
	koronal	10,88	9,92	0,00	29,30	2,85	6,78	17,58

13 Danksagung

Herzlichst danken möchte ich Herrn Professor Dr. Roland Frankenberger, Direktor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, für die Möglichkeit, an der Zahnklinik der Philipps-Universität Marburg zu promovieren und auch zahnärztlich arbeiten zu können.

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Matthias Roggendorf, geschäftsführender Oberarzt der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Zahnklinik Marburg, für die Bereitstellung des Themas und die hervorragende Betreuung, Motivation und Zusammenarbeit.

Ein weiterer Dank richtet sich an meine Familie und an alle anderen Personen, welche mir im Laufe der Dissertation und meines Studiums mentale Unterstützung boten.

14 Curriculum vitae

15 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums an der FAU Erlangen-Nürnberg waren die Damen und Herren Professoren:

Beuscher, Boegershausen, Eichhorn, Eitner, Frank, Haas, Handwerker, Hartmann, Hertrich, Hirschfelder, Hornung, Gasteiger, Göhl, Korbmacher, Lütjen-Drecoll, Neuhuber, Neukam, Ogilvie, Parsch, Pelka, Petschelt, Schneider, Simon, Strauß, Wichmann, Zolk.

16 Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Philipps Universität Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel

**„Revisionseffizienz von Reciproc-Feilen
zur Entfernung von Wurzelkanalfüllungen
nach 4 verschiedenen Obturationstechniken“**

in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde des medizinischen Zentrums für ZMK-Heilkunde unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Frankenberger und mit Unterstützung durch Herrn Dr. Roggendorf ohne sonstige Hilfsmittel selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Die vorliegende Arbeit ist zur Publikation im *International Endodontic Journal* vorbereitet und eingereicht worden.

Gundelsheim, den 17.06.2014

Magdalena Müller